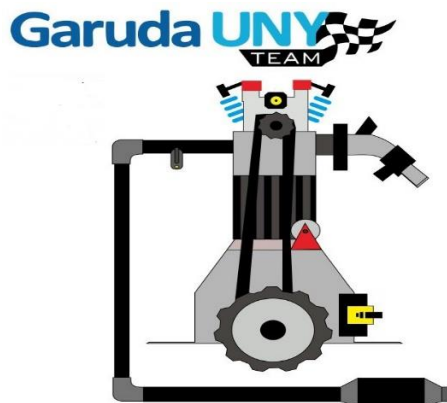




**MODIFIKASI SISTEM INJEKSI ENGINE HONDA KARISMA 125
BERBASIS ECU MEGASQUIRT-3 PADA MOBIL GARUDA URBAN
GASOLINE GUNA KOMPETISI SHELL ECO MARATHON ASIA
SINGAPURA 2017**

PROYEK AKHIR

**Diajukan Kepada Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta
Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Guna Memperoleh Gelar Ahli Madya Teknik**



Oleh

MUSTAFIT SEPTIAN

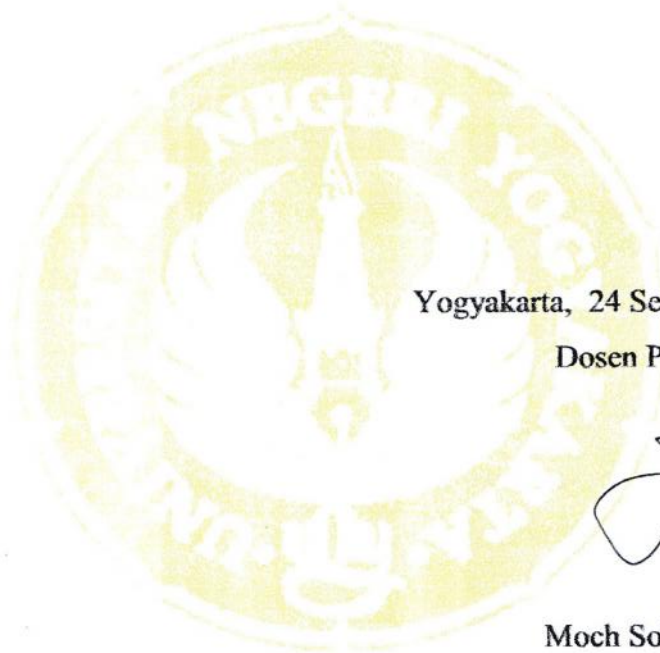
NIM. 14509134003

**PROGRAM STUDI TEKNIK OTOMOTIF FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

2017

PERSETUJUAN

Proyek Akhir ini yang berjudul **“MODIFIKASI SISTEM INJEKSI ENGINE HONDA KARISMA 125 BERBASIS ECU MEGASQUIRT-3 PADA MOBIL GARUDA *URBAN GASOLINE* GUNA *KOMPETISI SHELL ECO MARATHON* ASIA SINGAPURA 2017”** ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.



Yogyakarta, 24 September 2017




Dosen Pembimbing,

Moch Solikin, M.Kes.

NIP. 19680404 199303 1 003

LEMBAR PENGESAHAN

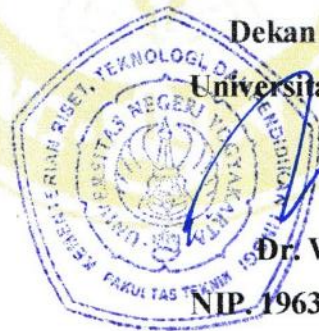
Proyek Akhir yang berjudul “**MODIFIKASI SISTEM INJEKSI ENGINE HONDA KARISMA 125 BERBASIS ECU MEGASQUIRT-3 PADA MOBIL GARUDA URBAN GASOLINE GUNA KOMPETISI SHELL ECO MARATHON ASIA SINGAPURA 2017**” ini telah dipertahankan di depan penguji pada tanggal 13 Oktober 2017 dan dinyatakan lulus.

DEWAN PENGUJI			
Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
Moch Solikin, M.Kes	Ketua Penguji		17-10-2017
Dr. Zainal Arifin, M.T	Sekretaris Penguji		17-10-2017
Joko Sriyanto, S.Pd., MT	Penguji		18-10-2017

Yogyakarta, Oktober 2017

Dekan Fakultas Teknik

Universitas Negeri Yogyakarta



Dr. Widarto, M.Pd.

NIP. 19631230 198812 1 0017

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa proyek akhir ini benar – benar karya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim.

Yogyakarta, 25 September 2017

Yang menyatakan,



Mustafit Septian

NIM. 14509134003

MOTTO

**JANGAN MEMINTA BUKTI BAHWA DO'AMU AKAN DIKABULKAN OLEH
ALLAH, TAPI BUKTIKANLAH DARI KESUNGGUHAN DO'AMU**

**METODE BELAJAR TERBAIK ADALAH
BERDASARKAN PEGALAMANMU SENDIRI
(GIVES YOU WINGS)**

*Seorang yang optimis akan melihat adanya kesempatan dalam setiap
malapetaka, sedangkan orang yang pesimis melihat malapetaka dalam
setiap kesempatan.*

(Nabi Muhammad SAW)

***Jangan pernah merasa sendiri, dimana disekelilingmu
banyak keluarga, sahabat ,teman, dan orang lain yang
selalu menunggu permintaan tolong darimu dan selalu
siap membantumu apapun keadaanmu***

**MODIFIKASI SISTEM INJEKSI ENGINE HONDA KARISMA 125
BERBASIS ECU MEGASQUIRT-3 PADA MOBIL GARUDA URBAN
GASOLINE GUNA KOMPETISI SHELL ECO MARATHON ASIA
SINGAPURA 2017**

**Oleh
Mustafit Septian
14509134003**

ABSTRAK

Tujuan penyusunan proyek akhir yang berjudul Modifikasi Sistem Injeksi Engine Honda Karisma 125 Berbasis Ecu Megasquirt-3 Pada Mobil Garuda *Urban Gasoline Guna Kompetisi Shell Eco Marathon* Asia Singapura 2017, mampu melakukan modifikasi dan dapat mengaplikasikan sistem kontrol elektronik sistem bahan bakar injeksi standar menjadi sistem bahan bakar injeksi *ecu programmable* MS-3 untuk kebutuhan kompetisi SEM .

Modifikasi ini terdiri dari tinjauan sistem kontrol elektronik. Dirancang sedemikian rupa sehingga dalam modifikasi ini semua komponen sistem kontrol elektronik dapat bekerja dengan baik dan mampu bekerja sebagai mana mestinya. Modifikasi sistem injeksi meliputi pemasangan, *wiring*, sensor, *actuator*, dan pemrograman ECU MS-3 pada mobil *Urban Gasoline Garuda UNY team*. Uji modifikasi digunakan bertujuan menganalisis adanya kesenjangan dalam proses pembuatan dari desain ke hasil akhir. Setelah dipastikan semua sudah sesuai dan mesin dapat menyala maka terakhir dilakukan pengujian yang mengacu pada hasil dari modifikasi yang berupa pengujian dari performa mesin serta pengujian konsumsi bahan bakar tersebut.

Hasil pengujian dari Modifikasi Sistem Injeksi Engine Honda Karisma 125 Berbasis *Ecu Megasquirt-3* yaitu sistem modifikasi sudah sesuai dan bekerja dengan baik sehingga mesin dapat hidup. Sedangkan hasil modifikasi dari segi performa terjadi peningkatan torsi sebesar 21,45%, peningkatan power sebesar 21,97%, serta peningkatan efisiensi bahan bakar sebesar 39.34%.

Kata Kunci : Mobil Garuda Urban Gasoline, Ecu Megasquirt 3, Peforma dan
Konsumsi bahan bakar

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, karena atas limpahan berkat dan rahmat-Nya, Sehingga penulis dapat menyelesaikan Proyek Akhir dengan judul *Modifikasi Sistem Injeksi Engine Honda Karisma 125 Berbasis Ecu Megasquirt-3 Pada Mobil Garuda Urban Gasoline Guna Kompetisi Shell Eco Marathon Asia Singapura 2017*. terselesaikannya proyek akhir ini tidak lepas dari bantuan, dorongan dan nasehat serta saran dari beberapa pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu menyelesaikan Proyek Akhir dan laporan ini, ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada yang terhormat :

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Proyek Akhir dapat terselesaikan dengan baik.
2. Orang Tua penulis yang telah memberikan dorongan semangat baik moril maupun materil.
3. Bapak Dr. Widarto, M.Pd. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
4. Bapak Dr. Zainal Arifin, M.T. selaku Ketua Jurusan Pendidikan Teknik Otomotif Universitas Negeri Yogyakarta.
5. Bapak Moch. Solikin, M.Kes. selaku Ketua Program Studi D3 Teknik Otomotif Universitas Negeri Yogyakarta, serta pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyusunan laporan.

6. Bapak Sutiman,S.Pd., M.T. selaku dosen Advisor yang telah memberikan banyak ilmu yang sangat bermanfaat.
7. Fevi Susanti yang selalu memberikan dorongan serta telah mensupport untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Rekan Garuda UNY Team yang telah memberikan tempat dan ilmu untuk mengembangkan diri.
9. Rekan kelas B Teknik Otomotif D3 2014 yang banyak membantu dalam berbagai hal.
10. Dan semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan dan pembuatan proyek akhir serta penyusunan laporan ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan proyek akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Untuk itu penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya jika terdapat kesalahan yang disengaja maupun tidak disengaja. Besar harapan, semoga laporan ini dapat berguna bagi pembaca dan semua pihak.

Yogyakarta, September 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
SURAT PERNYATAAN	iv
MOTTO	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	6
C. Batasan Masalah	7
D. Rumusan Masalah	7
E. Tujuan	7
F. Manfaat	8
G. Keaslian Gagasan	8
BAB II. PENDEKATAN PEMECAHAN MASALAH	10
A. Sistem Bahan Bakar Injeksi EFI	10
B. Konstruksi Dasar Sistem EFI	12
C. Cara Kerja Sistem Injeksi	27
D. Ecu Programmable Megasquirt 3	34
E. Pengaruh AFR Terhadap Tenaga Mesin	35
F. Pengaruh Timing Pengapian Terhadap Tenaga Mesin	36
BAB III. KONSEP RANCANGAN	38

A. Analisis Kebutuhan Modifikasi	39
B. Perancangan Modifikasi.....	40
C. Kebutuhan Alat dan Bahan	52
D. Rencana Kegiatan.....	54
E. Perencanaan Biaya	55
F. Perancangan Pengujian	57
 BAB IV. PROSES, HASIL DAN PEMBAHASAN.....	59
A. Proses Modifikasi Sistem Injeksi	59
B. Proses Pengujian	77
C. Hasil Pengujian	82
D. Pembahasan.....	86
 BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	89
A. Kesimpulan	89
B. Keterbatasan.....	90
C. Saran.....	91
 DAFTAR PUSTAKA.....	92
LAMPIRAN.....	94

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. EFI D- <i>jetronik</i> dan L- <i>jetronik</i>	13
Gambar 2. Aliran Sistem Bahan Bakar Pada EFI	14
Gambar 3. Pompa Bahan Bakar Assy Sepeda Motor	15
Gambar 4. Konstruksi Injektor	16
Gambar 5. Konstruksi dan Nilai Tahanan <i>Intake Air Temperature Sensor</i>	18
Gambar 6. MAP Sensor dan Rangkaianannya	19
Gambar 7. Hubungan Output Voltage MAP Sensor dengan tekanan pada <i>Intake Manifold</i>	20
Gambar 8. <i>Throttle Position sensor</i> dan Rangkaianannya	20
Gambar 9. <i>Water Temperatur Sensor</i> dan Rangkaianannya	21
Gambar 10. Konstruksi WTS dan Hubungan Temperatur Dengan Nilai Tahanan	21
Gambar 11. CKP (<i>Crankshaft Position sensor</i>)	22
Gambar 12. Konstruksi <i>Oxygen Sensor</i>	23
Gambar 13. Rangkaian dan Cara Kerja <i>Oxygen Sensor</i>	23
Gambar 14. Skema Sistem Induksi udara	25
Gambar 15. ISC Valve	27
Gambar 16. Durasi Injeksi Saat <i>Starter</i>	29
Gambar 17. Durasi Injeksi Setelah <i>Starter</i>	29
Gambar 18. Hubungan Temperatur Mesin dengan Durasi Injeksi	30
Gambar 19. Pengaruh <i>Temperature</i> , Kecepatan Mesin terhadap Fungsi <i>Fuel Cut</i>	33
Gambar 20. Koreksi Tegangan Baterai	33
Gambar 21. Tampilan utama dan fitur dari <i>Megasquirt-III</i> (MS-3)	34
Gambar 22. Diagram Pagaruh AFR Terhadap Daya Mesin	35
Gambar 23. Pengaruh Pengajuan Timing Pengapian terhadap Tekanan Hasil Pembakaran	37
Gambar 24. Posisi Injektor	42
Gambar 25. Desain adapter <i>Intake Manifold</i>	42

Gambar 26. Posisi sensor CKP pada mesin	43
Gambar 27. Desain Rotor.....	44
Gambar 28. Desain Mounting CKP	44
Gambar 29. <i>Air Gap Antara Rotor Dengan CKP</i>	45
Gambar 30. Posisi Pemasangan CMP pada Engine	46
Gambar 31. Posisi Sensor CMP pada Gigi Sentrik <i>Chamshaft</i>	46
Gambar 32. Desain <i>Mounting</i> Sensor CMP	47
Gambar 33. Diagram Sistem Bahan Bakar	48
Gambar 34. <i>Wiring Diagram</i> Sistem Injeksi ECU <i>Programmable</i>	49
Gambar 35. ECU MS-3.....	50
Gambar 36. Langkah kalibrasi TPS	50
Gambar 37. Langkah <i>Setting Volume</i> Bahan Bakar.....	51
Gambar 38. Langkah <i>Setting Timing</i> Pengapian	52
Gambar 39. Membubut Adapter <i>Intake Manifold</i>	60
Gambar 40. Hasil Modifikasi Adapter <i>Intake Manifold</i>	60
Gambar 41. Memasang Adapter <i>Intake Manifold</i> pada <i>Engine</i>	61
Gambar 42. Memasang Injektor pada <i>Intake Manifold</i>	62
Gambar 43. Memasang <i>Throttle Body</i>	63
Gambar 44. Membubut Besi Pejal sesuai Gambar Kerja.....	64
Gambar 45. Pengelasan <i>Pickup</i> pada Rotor	64
Gambar 46. Hasil Pembuatan Rotor.....	65
Gambar 47. Menempelkan Gambar Kerja Skala 1:1 pada Plat	66
Gambar 48. Membentuk Plat Sesuai dengan Gambar Kerja.....	66
Gambar 49. <i>Mounting</i> yang Sudah Jadi	66
Gambar 50. <i>Adjuster</i> yang Sudah Jadi	67
Gambar 51. Pemasangan Rotor pada <i>Engine</i>	67
Gambar 52. Pemasangan CKP ke <i>Engine</i>	68
Gambar 53. Memotong plat sesuai gambar kerja.....	68
Gambar 54. Plat <i>mounting</i> CMP yang Sudah Jadi	69
Gambar 55. Pemasangan Sensor CMP pada <i>Engine</i>	69
Gambar 56. Memasang Dudukan Selang pada Botol Udara.....	70
Gambar 57. Memasang Dudukan Selang pada Tutup Tangka Bahan Bakar	70
Gambar 58. Memasang Sistem Bahan Bakar pada Mobil	71
Gambar 59. Instalasi <i>Wire Harness</i>	72

Gambar 60. <i>Wire Harness</i> yang Sudah Jadi.....	72
Gambar 61. Memasang Instalasi <i>Wire Harnes</i> pada Rangka.....	72
Gambar 62. Memasang <i>Socket Sensor & Actuator</i>	73
Gambar 63. Keadaan TPS Belum Terkalibrasi	73
Gambar 64. Hasil dari TPS yang Sudah Terkalibrasi	74
Gambar 65. Pengujian Performa Mesin	80
Gambar 66. Pengujian Konsumsi Bahan Bakar	81
Gambar 67 Pengukuran Konsumsi Bahan Bakar Menggunakan Buret	81
Gambar 68. Grafik Torsi dari Hasil Pengujian <i>Dynotest</i>	84
Gambar 69. Grafik Daya dari Hasil Pengujian <i>Dynotest</i>	84
Gambar 70. Grafik Pencapaian Konsumsi Bahan Bakar	86

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Hasil Pencapaian <i>Shell Eco Marathon</i> Asia 2015	3
Tabel 2. Hasil Pencapaian <i>Shell Eco Marathon</i> Asia 2016	3
Tabel 3. Hasil Pencapaian <i>Shell Eco Marathon</i> Asia 2017	4
Tabel 4. Perbandingan AFR dengan Kondisi Mesin.....	11
Tabel 5. Rencana kegiatan	55
Tabel 6. Kebutuhan Bahan Dalam Pembuatan Proyek Akhir.....	56
Tabel 7. Pengujian modifikasi	58
Tabel 8. Seting awal VE Table	75
Tabel 9. Hasil mapping VE Table terbaik sesuai mesin	76
Tabel 10. Hasil mapping Timing Pengapian terbaik sesuai mesin	77
Tabel 11. Pengujian modifikasi.....	78
Tabel 12. Hasil Pengujian Performa Mesin	83
Tabel 13. Hasil Konsumsi Bahan Bakar Sebelum Modifikasi.....	85
Tabel 14. Hasil Konsumsi Bahan Bakar Setelah Modifikasi.....	85

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Foto hasil pengujian <i>dynotest</i> dengan sistem injeksi standart Honda Karisma 125_.....	94
Lampiran 2. Foto hasil pengujian <i>dynotest</i> dengan sistem injeksi Honda Karisma 125 berbasis ECU MS-3	95
Lampiran 3. Foto hasil konsumsi bahan bakar mobil Garuda <i>Urban Gasoline</i> sebelum dimodifikasi dengan hasil 88,9ml	96
Lampiran 4. Foto hasil konsumsi bahan bakar mobil Garuda <i>Urban Gasoline</i> sebelum dimodifikasi dengan hasil 88,0ml	96
Lampiran 5. Foto hasil konsumsi bahan bakar mobil Garuda <i>Urban Gasoline</i> sebelum dimodifikasi dengan hasil 88,2ml	97
Lampiran 6. Foto hasil konsumsi bahan bakar mobil Garuda <i>Urban Gasoline</i> setelah dimodifikasi dengan hasil 55ml.....	97
Lampiran 7. Foto hasil konsumsi bahan bakar mobil Garuda <i>Urban Gasoline</i> setelah dimodifikasi dengan hasil 56ml.....	98
Lampiran 8. Foto hasil konsumsi bahan bakar mobil Garuda <i>Urban Gasoline</i> setelah dimodifikasi dengan hasil 53.4ml.....	98
Lampiran 9. Foto hasil konsumsi bahan bakar mobil Garuda <i>Urban Gasoline</i> setelah dimodifikasi dengan hasil 53.4ml.....	99
Lampiran 10. Foto histogram <i>throotle position sensor</i> 0%	100
Lampiran 11. Foto histogram <i>throotle position sensor</i> 100%	101

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Shell Eco Marathon (SEM) adalah sebuah kompetisi mobil hemat energi yang diadakan oleh *Shell*, sebuah perusahaan ternama dunia yang bergerak di bidang minyak dan gas. Kompetisi SEM menantang para insinyur muda untuk mendesain, menciptakan, menguji coba, dan mengkompetisikan kendaraan hemat energi. Kompetisi SEM diadakan di tiga regional dunia yaitu Asia, Amerika, dan Eropa dengan peserta perwakilan tim dari tiap negaranya. Kompetisi ini diikuti oleh berbagai jenis peserta mulai dari amatir yang tertarik (dengan kompetisi hemat energi) hingga perguruan tinggi dan perusahaan kendaraan bermotor dengan berbagai rancangan.

Pada kompetisi tahun 2017 *Event Shell Eco Marathon* dilaksanakan di Eropa (Rotterdam, Belanda), Amerika (*Discovery Green Track*, Houston, Texas), dan di Asia (*Changi Exhibition Centre*, Singapura). Kompetisi *Shell Eco Marathon* dibagi menjadi dua kelas utama yaitu kelas *Urban Concept* dan kelas *Prototype Vehicle*. Pada kelas *Urban Concept* kendaraan diharuskan mengikuti desain kendaraan roda empat layaknya kendaraan pada saat ini. Dimensi kendaraan untuk kelas *Urban Concept* sesuai dengan regulasi harus memiliki tinggi 100-130 cm, lebar 120-130 cm, dan panjang 220-350 cm. *Wheel track* minimal 120 cm dan bobot kendaraan tanpa pengemudi maksimal 250 kg. Pada kelas *Prototype Vehicle* desain tinggi maksimum kendaraan harus kurang dari 100 cm, *wheel base* kendaraan minimal 50 cm, *wheel track* minimal 100 cm, lebar total kendaraan maksimum tidak boleh

melebihi 130 cm, panjang total maksimum tidak boleh melebihi 350 cm dan bobot kendaraan maksimal tanpa driver 140 kg (*Rules Shell Eco Marathon*, 2017).

Pemenang kompetisi adalah tim dengan kendaraan yang dapat menempuh jarak pada sirkuit dengan jumlah bahan bakar paling sedikit. Kendaraan umumnya dijalankan dengan kecepatan rata-rata 30 km/jam dan menempuh jarak antara 10 sampai dengan 12 km tergantung dari panjang sirkuit yang dipakai. Untuk lomba di *Changi Exhibition Centre*, kendaraan peserta diharuskan mampu menyelesaikan 9 lap atau sepanjang 12 km. Setelah mencapai garis finish, konsumsi bahan bakar yang telah digunakan akan diukur menggunakan gelas ukur atau buret dengan teliti dalam satuan milliliter. Bahan bakar yang digunakan dibagi dalam berbagai kelas diantaranya bertenaga *Shell Petrol/Gasoline 95*, *Shell Diesel*, *Shell Gas To Liquid (100% GTL) (LPG)*, *Fatty Acid Methyl Ester (100% FAME)*, *Ethanol E100 (100% Etanol)*, *Hidrogen*, *solar sell* dan elektrik (*Rules Shell Eco Marathon*, 2016).

Sesuai perkembangan teknologi setiap tahunnya kompetisi ini selalu memunculkan pencapaian efisiensi konsumsi bahan bakar yang meningkat. Pada tahun 2015 pencapaian *Shell Eco Marathon Asia* tertinggi dicapai oleh tim *DLSU eco car* dari Filipina dengan perolehan 126,6 km/l. Pada tahun 2016 pencapaian tertinggi dari tim Sadewa dari Indonesia dengan perolehan 275,1 km/l dan pada tahun 2017 pencapaian terbaik juga dicapai oleh tim Sadewa dengan kenaikan yang sangat signifikan yaitu 374,9 km/l. Data lengkapnya adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Pencapaian *Shell Eco Marathon* Asia 2015**UrbanConcept Category**

and place signature on a PDF File.

Shell FuelSave Gasoline

Rank	Team name	Country	School Name	Fuel type	Best attempt (km/l)
1	DLSU Eco Car Team – I.C.E.	Philippines	De La Salle University	Gasoline	126.6km/l
2	Donmuang Technical college	Thailand	Donmuang Technical College	Gasoline	76.9km/l
3	Innova	Pakistan	Pakistan Institute Of Engineering and Applied Sciences	Gasoline	58.1km/l

Tabel 2. Hasil Pencapaian *Shell Eco Marathon* Asia 2016

Shell Eco-marathon ASIA 2016
Final results: UrbanConcept Gasoline

07/03/2016

Rank	Team n°	Team name	Country	Organization	Institution type	Competition category	Energy type	Best attempt (km/l)	Attempt 1 (km/l)	Attempt 2 (km/l)	Attempt 3 (km/l)	Attempt 4 (km/l)	Attempt 5 (km/l)
1	515	Sadeva	Indonesia	Universitas Indonesia	University	UrbanConcept	Gasoline	273.1					273.1
2	506	DLSU Eco Car Team - I.C.E.	Philippines	De La Salle University	University	UrbanConcept	Gasoline	158.7			158.7		158.6
3	530	CK	Vietnam	Ho Chi Minh City University of Technology and Education	University	UrbanConcept	Gasoline	109	64	109			

Tabel 3. Hasil Pencapaian *Shell Eco Marathon Asia 2017***UrbanConcept Category Results****Internal Combustion Engine (ICE)**

Rank	Team name	Country	School Name	Fuel type	Best Attempt (km/l)
1	Sadewa	Indonesia	Universitas Indonesia	Gasoline	374.9
2	ITS Team 2	Indonesia	Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Diesel	335.8
3	Garuda UNY Eco Team	Indonesia	Universitas Negeri Yogyakarta	Gasoline	220.8
4	Bengawan Team 2	Indonesia	Sebelas Maret University	Diesel	213.5
5	Cikal Ethanol	Indonesia	Institut Teknologi Bandung	Ethanol	197.9
6	DLSU Eco Car Team – I.C.E.	Philippines	De La Salle University	Gasoline	195.9

Dalam referensi dari kuliah otomotif dan buku “*Motorcar Development/Fabrication Guide for students and Junior Engineers*” dari SAE (*Society of Automotive Engineers*), untuk menjadi tim yang mampu bersaing dengan perolehan angka efisiensi konsumsi bahan bakar yang tinggi, suatu tim harus mampu menguasai dan menerapkan teknologi. Teknologi canggih pertama adalah bagaimana membuat bentuk kendaraan dengan hambatan angin (*aerodynamic drag*) yang rendah dan merancang struktur kendaraan yang ringan dan teknologi canggih kedua yang harus dikuasai atau diperoleh adalah menekan sekecil mungkin gesekan ban dan gesekan bantalan poros (*bearing*) (Santin J.J et.al, 2007). Ban mobil konvensional mempunyai koefisien hambatan gelinding (*rolling resistance coefficient*) pada jalan aspal sebesar 0,013, ban sepeda 0,006 sedangkan ban buatan Michelin (*cross ply*) yang dipakai dalam kompetisi memiliki harga koefisien hambatan gelinding hanya 0,0024 (40% dari hambatan ban sepeda dan 18% dari hambatan

ban mobil). Lebih mengagumkan lagi adalah ban *radial ply* yang juga dikembangkan oleh Michelin dengan koefisien hambatan gelinding sebesar 0,00081, atau 13,5 % dari ban sepeda dan hanya 6,2 % bila dibandingkan dengan ban mobil. Sementara itu, bantalan poros yang dibuat dari material keramik memiliki koefisien hambatan gelinding hanya 40% dari bantalan konvensional. Teknologi ketiga ini bisa dikategorikan dalam domain teknologi pengaturan sistem bahan bakar yang bisa terkontrol. Hal ini sering disebut dengan *Elektronik Control Unit* (ECU).

Pengembangan ECU tidak hanya untuk kebutuhan kendaraan komersial, melainkan juga untuk kebutuhan kompetisi seperti pada *Formula 1*, *Motogp*, *Nascar*, *Drag Race* dan lain-lain sehingga banyak produsen mengembangkan *ECU programmable* salah satunya adalah ECU *Megasquirt 3 Pro* (MS-3) yang memiliki keunggulan dikarenakan sistem kontrol elektronik memiliki banyak fitur dimana *timing* pengapian, *timing* awal penyemprotan bahan bakar, dan durasi bahan bakar dapat kita *setting* sesuai kebutuhan. Sebagaimana, cara mengontrol mesin untuk menghasilkan tenaga yang maksimal dengan konsumsi bahan bakar yang efisien agar efektif sehingga dapat dipacu sekencang mungkin.

Pada bulan Mei 2017 merupakan tahun ke-33 SEM diadakan kembali, khususnya untuk SEM Asia bertempat di *Changi Exhibition Centre* di Singapura. SEM adalah kompetisi internasional ketiga setelah *International Student Car Competition* di Korea Selatan dan *Student Formula Japan* di Jepang. Pada tahun 2017 ini, untuk pertama kalinya Universitas Negeri Yogyakarta mengikuti kompetisi tersebut dengan menurunkan mobil *Garuda Urban Gasoline*. Sistem

utama pada mobil *Garuda Urban Gasoline*. ini terdiri dari beberapa komponen utama yaitu *body*, *chassis*, sistem kemudi, rem dan suspensi, *engine*, dan sistem pemindah tenaga. Dalam kompetisi *Shell Eco Marathon* diperlukan mobil dengan *engine* yang memiliki performa maksimal dengan konsumsi bahan bakar sehemat mungkin, karena kategori yang dilombakan antara lain *Driver World Champion* yaitu *endurance* dengan kecepatan secepat mungkin namun dengan kapasitas bahan bakar yang telah ditentukan dan *endurance* hemat energi dengan jarak 12 km dengan waktu 30 menit dengan konsumsi bahan bakar seminimal mungkin.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang diuraikan di atas dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut.

1. Pembuatan bentuk *body* kendaraan dengan hambatan angin (*aerodynamic drag*) yang rendah dan merancang struktur kendaraan yang ringan.
2. Dalam perlombaan *Shell Eco Marathon* diperlukan kendaraan dengan *low rolling resistance* antara gesekan ban dengan aspal maupun gesekan *bearing* dengan poros.
3. Dalam perlombaan *Shell Eco Marathon* diperlukan kendaraan dengan *engine* performa yang optimal serta pengontrolan bahan bakar injeksi yang dilakukan dengan kontrol elektronik agar dapat pengaturan *timing* injeksi, *timing* pengapian dan volume injeksi sesuai dengan kebutuhan *engine* guna

menghasilkan tenaga yang maksimal dan konsumsi bahan bakar seefisien mungkin.

C. Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah di atas, dalam kompetisi *Shell Eco Marathon* diharapkan *engine* yang digunakan memiliki performa yang maksimal serta konsumsi bahan bakar seefisien mungkin dikarenakan meningkatnya daya dan torsi serta settingan ECU yang bagus sehingga mampu mengikuti berbagai macam kategori perlombaan yang diikuti. Oleh karena itu dalam pembuatan mobil Garuda *Urban Gasoline* sesuai dengan ketersediaan bahan dan keterbatasan alat maka dibatasi pada modifikasi *sistem* injeksi pada *engine* Karisma 125 menggunakan *ecu programmable* MS-3 pada mobil *Garuda Urban Gasoline*.

D. Rumusan Masalah

1. Bagaimana modifikasi sistem bahan bakar injeksi standar menjadi sistem bahan bakar injeksi menggunakan *ecu programmable* MS-3 untuk kebutuhan kompetisi?
2. Bagaimana hasil dari modifikasi sistem bahan bakar injeksi standar menjadi sistem bahan bakar injeksi menggunakan *ecu programmable* MS-3 untuk kebutuhan kompetisi?

E. Tujuan

Tujuan dari inovasi modifikasi sistem bahan bakar injeksi standar menjadi sistem bahan bakar injeksi menggunakan *ecu programmable* MS-3 mobil Garuda *Urban Gasoline* ini adalah sebagai berikut:

1. Mampu melakukan modifikasi sistem bahan bakar injeksi standar menjadi sistem bahan bakar injeksi menggunakan ECU *programmable* MS-3 untuk kebutuhan kompetisi SEM.
2. Dapat mengaplikasikan sistem control elektronik pada modifikasi sistem bahan bakar standar menjadi sistem injeksi menggunakan ECU *programmable* MS-3 sehingga dapat digunakan untuk mengatur timing pengapian, volume injeksi dan *timing* injeksi untuk kebutuhan kompetisi SEM.

F. Manfaat

1. Meningkatkan efisiensi bahan bakar pada mobil *Urban Gasoline*.
2. Meningkatkan performa mesin mobil *Urban Gasoline*.
3. Sarana transportasi yang hemat energi dan rendah polusi serta mengurangi ketergantungan yang tinggi pada penggunaan bahan bakar fosil.
4. Dapat dijadikan dan diikutsertakan dalam kontes perancangan dan pembuatan kendaraan hemat energi antaruniversitas tingkat internasional.

G. Keaslian Gagasan

Teknologi sistem bahan bakar injeksi *programmable* MS-3 merupakan teknologi yang lebih memiliki keunggulan dibandingkan dengan teknologi sistem bahan bakar injeksi standar karena teknologi sistem bahan bakar injeksi *programmable* MS-3 dapat di *setting* sesuai kebutuhan sehingga diasumsikan lebih efisien bahan bakar dan meningkatkan

performa *engine* mobil Garuda *Urban Gasoline* karena volume injeksi, *timming* injeksi, dan timing pengapian dapat disetel secara manual dan disesuaikan dengan kebutuhan. Sehingga, muncul gagasan untuk melakukan modifikasi sistem injeksi engine Honda Kharisma 125 berbasis ECU MS-3 pada mobil Garuda *Urban Gasoline* agar meningkatkan efisiensi dan meningkatkan performa *engine* pada mobil tersebut.

BAB II

PENDEKATAN PEMECAHAN MASALAH

A. Sistem Bahan Bakar Injeksi EFI

Sistem bahan bakar injeksi atau EFI merupakan langkah inovasi yang sedang dikembangkan untuk diterapkan pada kendaraan bermotor saat ini, sistem bahan bakar EFI dimaksudkan agar dapat meningkatkan kinerja mesin supaya *power* yang dihasilkan lebih baik, akselerasi yang lebih responsif dan stabil pada setiap putaran, pemakaian bahan bakar yang lebih efisien dan menghasilkan emisi gas buang yang lebih rendah sehingga lebih ramah lingkungan.

Sistem bahan bakar injeksi atau EFI (*Electronic Fuel Injection*) dapat digambarkan sebagai suatu sistem penyalur bahan bakar yang memanfaatkan pompa bahan bakar pada tekanan tertentu untuk merubah bentuk bahan bakar cair menjadi bentuk gas dan mencampurnya dengan udara yang kemudian masuk ke dalam ruang bakar melalui injektor yang pada umumnya diletakkan di bagian ujung *intake manifold*. Pada saat katup masuk terbuka yaitu pada langkah hisap, sehingga udara yang masuk dapat bercampur dengan bahan bakar. (Wahyu D. H: 2013)

Secara ideal, sistem bahan bakar injeksi harus dapat menyuplai bahan bakar yang disemprotkan dari injektor agar dapat dengan mudah bercampur dengan udara dan menghasilkan campuran yang homogen dalam perbandingan campuran yang tepat sesuai dengan putaran dan beban mesin, kebutuhan mesin, dan kondisi antara suhu mesin dengan suhu atmosfer saat itu. Sistem juga harus dapat menyuplai bahan bakar yang bervariasi, dengan jumlah yang sesuai dalam berbagai kondisi mesin,

agar setiap perubahan kondisi kerja mesin tersebut dapat tercapai dengan kinerja mesin yang optimal (Sutiman: 2005).

Perbandingan udara dan bahan bakar atau AFR (*Air Fuel Ratio*) yang ideal disebut juga dengan perbandingan *stoichiometric* yang mana perbandingannya adalah 14,7 gr udara dengan 1 gr bahan bakar. Apabila perbandingan bahan bakar atau AFR lebih dari 14,7 gr maka campuran tersebut adalah campuran kurus/ miskin dan apabila perbandingan bahan bakar atau AFR kurang dari 14,7 gr, maka disebut dengan campuran gemuk/ kaya (Sutiman: 2005).

Tabel 4. Perbandingan AFR dengan Kondisi Mesin

No	Kondisi Kerja Mesin	AFR	No	Kondisi Kerja Mesin	AFR
1	Start Temperatur Dingin	2-3 : 1	6	Putaran Maks.	12-13 : 1
2	Start Temperatur Panas	7-8 : 1	7	Putaran Sedang	15-17 : 1
3	Saat Idling	8-10 : 1	8	Tenaga Optimal	12-13 : 1
4	Kecepatan Rendah	10-12 : 1	9	Emisi Rendah	15: 1
5	Akselerasi	2-3 : 1	10	Bahan Bakar Ekonomis	16-17 : 1

(Sutiman: 2005)

Perbandingan udara dan bahan bakar tersebut bergantung dari temperatur dan kondisi kerja mesin. Perbandingan campuran saat menghidupkan mesin berbeda dengan perbandingan campuran saat putaran idling, saat putaran lambat, maupun saat putaran dipercepat. Perbandingan antara udara yang terpakai di dalam proses pembakaran dengan kebutuhan udara teoritis disebut dengan faktor *lambda* (λ).

Adapun perhitungan *lambda* (λ) menurut Sutiman (2005) dapat dirumuskan sebagai berikut:

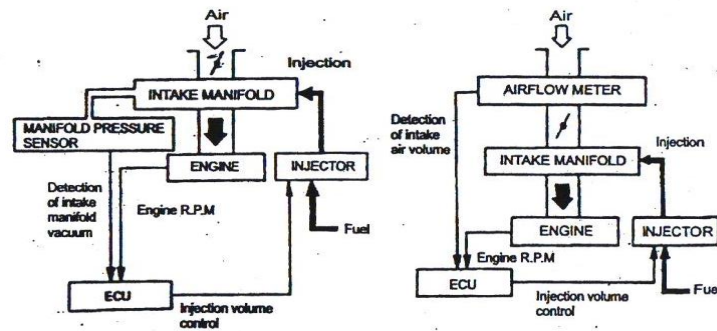
$$\lambda = \frac{\text{Jumlah udara sesungguhnya}}{\text{teori stoichiometric}}$$

Jika jumlah udara sesungguhnya 14,7 , maka : $\lambda = \frac{14,7}{14,7:1} \rightarrow \lambda = 1$

Rumus di atas menunjukkan bahwa campuran yang ideal atau *stoichiometric* menghasilkan *lambda* (λ) = 1, berarti apabila *lambda* (λ) > 1 menunjukkan bahwa campuran kurus (lebih banyak udara), sedangkan apabila *lambda* (λ) < 1 maka disebut campuran kaya (kekurangan udara). Pemahaman mengenai nilai *lambda* (λ) ini memudahkan dalam menyatakan kondisi campuran yang masuk ke dalam ruang bakar, serta menganalisis kondisi mesin dengan cepat.

B. Konstruksi Dasar Sistem EFI

Secara umum sistem injeksi kontrol elektronik dikelompokkan menjadi dua, yaitu : *L-jetronik* dan *D-jetronik*. Pada sistem bahan bakar injeksi kontrol elektronik tipe *L jetronik* menggunakan ECU (*Electronic Control Unit*) sebagai pengontrol injeksi bahan bakar berdasarkan jumlah aliran udara yang masuk ke dalam silinder yang terukur atau terdeteksi oleh sensor *Air Flow Meter*. Kode L berasal dari bahasa jerman “*Luft*” yang berarti udara. Sedangkan pengontrol injeksi bahan bakar berdasarkan tekanan udara yang masuk kedalam silinder yang terdeteksi oleh sensor MAP (*Manifold Absolute Pressure*). Kode D berasal dari bahasa jerman “*Drunk*” yang berarti tekanan (Moch.Solikin: 2005).



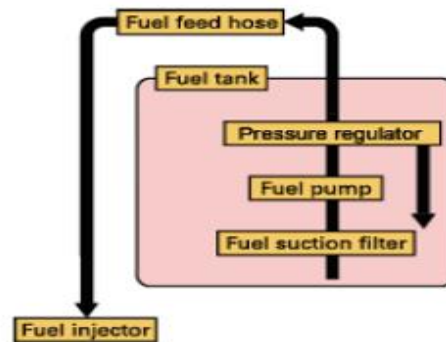
Gambar 1. EFI D-jetronik dan L-jetronik

Jumlah komponen-komponen sistem yang terdapat pada sistem EFI dapat berbeda antara mesin satu dengan yang lain dengan semakin lengkapnya komponen-komponen sistem EFI seperti sensor dan *actuator*, maka pengaturan koreksi yang diperlukan untuk mengatur koreksi campuran bahan bakar dan udara akan semakin baik sehingga bisa menghasilkan *output* kerja mesin yang optimal.

Konstruksi sistem EFI dapat dibagi menjadi tiga bagian/ sistem utama yaitu: sistem bahan bakar (*fuel system*), sistem kontrol elektronik (*electronic control system*) dan sistem induksi pemasukan udara (*air induction system*). Ketiga sistem utama ini sangat berperan penting dalam sistem EFI untuk menghasilkan pemakaian bahan bakar yang efisien, emisi yang rendah dan kerja mesin yang optimal. Untuk lebih jelasnya ketiga sistem utama ini akan dibahas satu persatu, yakni sebagai berikut:

1. Sistem Bahan Bakar

Sistem bahan bakar pada EFI (*Electronic Fuel Injection*) merupakan sistem yang berfungsi untuk menampung bahan bakar, menyuplai bahan bakar pada tekanan tinggi, dan mengatur tekanan bahan bakar sehingga siap diinjeksikan.



Gambar 2. Aliran Sistem Bahan Bakar Pada EFI (Anonim: 2011)

Komponen-komponen yang digunakan pada sistem bahan bakar ini diantaranya adalah tangki bahan bakar (*fuel tank*), pompa bahan bakar (*fuel pump*), saringan bahan bakar (*fuel suction filter*), pipa bahan bakar (*fuel feed hose*), regulator tekanan (*pressure regulator*), dan injektor/ penyemprot bahan bakar.

Adapun fungsi dari masing-masing komponen dalam sistem bahan bakar tersebut adalah sebagai berikut :

- a. Tangki bahan bakar (*fuel tank*) berfungsi sebagai tempat penampungan sementara bahan bakar yang dibutuhkan oleh mesin.
- b. Pompa bahan bakar (*fuel pump*) berfungsi untuk memompa dan mengalirkan bahan bakar dari tangki bahan bakar ke injektor bertekanan tinggi. Jumlah bahan bakar yang disalurkan ke injektor harus lebih banyak dibandingkan dengan kebutuhan mesin, hal ini bertujuan agar tekanan dalam sistem bahan bakar dapat selalu dipertahankan meskipun kondisi mesin berubah-ubah.

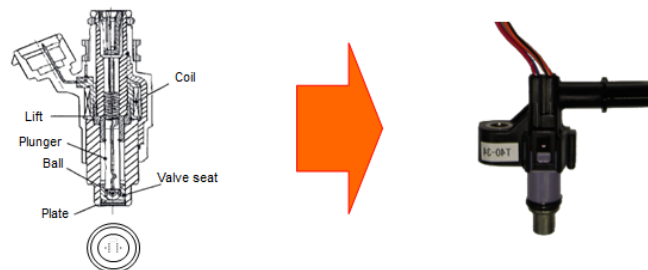
- c. Saringan bahan bakar (*fuel suction filter*) berfungsi untuk menyaring kotoran yang mungkin terkandung dalam bahan bakar agar tidak ikut terhisap oleh pompa bahan bakar (*fuel pump*) dan menyumbat injektor.
- d. Regulator tekanan (*pressure regulator*) berfungsi mengatur tekanan bahan bakar di dalam sistem aliran bahan bakar agar selalu sama/ konstan pada tekanan tertentu, bila tekanan pada bahan bakar yang dipompa melebihi batas tekanan, maka regulator tekanan akan mengembalikan bahan bakar tersebut ke dalam tangki bahan bakar.



Gambar 3. Pompa Bahan Bakar Assy Sepeda Motor (Anonim: 2011)

- e. Pipa bahan bakar (*fuel feed hose*) berfungsi untuk mengalirkan bahan bakar yang telah dipompa oleh pompa bahan bakar (*fuel pump*) dari tangki bahan bakar menuju ke injektor. *Fuel feed hose* dirancang harus tahan terhadap tekanan dari bahan bakar yang memiliki tekanan cukup besar akibat dipompa oleh pompa bahan bakar (*fuel pump*).
- f. Injektor berfungsi untuk mengabutkan bahan bakar dan menyembrotkan bahan bakar tersebut ke saluran masuk (*intake manifold*), pada umumnya sebelum katup masuk. Jumlah bahan bakar yang diinjeksikan tergantung dari tekanan bahan bakar, besarnya lubang pada injektor, dan lamanya

injektor tersebut membuka. Setiap injektor yang digunakan pada mesin injeksi sepeda motor memiliki konstruksi yang tidak selalu sama.



Gambar 4. Konstruksi Injektor (Anonim: 2011)

2. Sistem Kontrol Elektronik

Sistem kontrol elektronik terdiri dari beberapa sensor dan aktuator yang berfungsi untuk menyajikan dan memberikan daya mesin yang optimal melalui sistem kerja yang akurat mengontrol jumlah penginjeksian bahan bakar dan *timing* pengapian disesuaikan dengan kondisi mesin untuk menghasilkan emisi gas buang yang seminimal mungkin, penggunaan bahan bakar yang efisien untuk menghasilkan pengendalian yang optimal pada semua kondisi kerja mesin, meminimalkan penguapan bahan bakar dan menyediakan sistem diagnosis untuk mengevaluasi sistem kerja dan kondisi perangkat perangkat pendukungnya bila terjadi permasalahan-permasalahan yang tidak dikehendaki pada sistem ini.

Sistem kontrol elektronik terdiri dari beberapa komponen yang bekerja untuk mendeteksi kondisi mesin, diantaranya adalah IAT (*Intake Air Temperature*) sensor, sensor MAP (*Manifold Absolute Pressure*), TPS (*Throttle Position sensor*), EOT (*Engine Oil Temperature*), CKP (*Crankshaft*

Position), *bank angle sensor*, O_2 (*Oxygen sensor*) dan sensor-sensor lainnya. Setiap sepeda motor dengan teknologi injeksi tidak semuanya memiliki kelengkapan jumlah dan macam sensor yang sama, tergantung pada jenis dan spesifikasi dari sepeda motor tersebut.

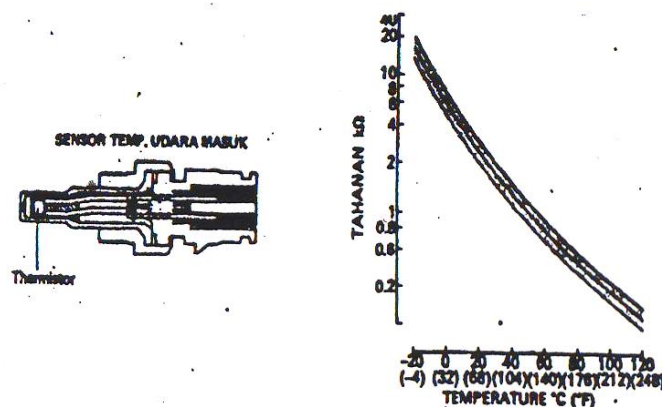
Pada sistem kontrol elektronik terdapat ECU (*Electronic Control Unit*) yang merupakan pusat dari sistem bahan bakar injeksi, serta komponen-komponen tambahan lainnya seperti baterai, lampu indikator kerusakan sistem injeksi atau MIL (*Malfunction Indicator Lamp*), *alternator* (magnet), dan regulator/ *rectifier* yang menyuplai dan mengatur aliran arus listrik ke ECU, serta komponen pelengkap lain. Pada sistem kontrol elektronik ini juga terdapat DLC (*Data Link Conector*) yaitu semacam *socket* yang fungsinya untuk mencari sumber kerusakan komponen saat dihubungkan dengan *engine analyzer* (Sutiman: 2005).

Secara garis besar fungsi dari masing-masing komponen dalam sistem kontrol elektronik tersebut antara lain adalah :

- a. *Electronic Control Unit* (ECU) adalah *microcomputer* yang berfungsi mengoreksi, menghitung dan menerima seluruh informasi/ data atau sinyal yang diterima dari masing-masing sensor yang ada dalam mesin. Informasi yang diterima tersebut antara lain berupa informasi mengenai temperatur udara, temperatur pelumas mesin, temperatur cairan pendingin mesin, tekanan atau jumlah udara yang masuk, posisi bukaan *throttle* gas, putaran mesin, posisi poros engkol, dan informasi lainnya. Kemudian ECU akan mengolah menggunakan informasi/ data-data tersebut untuk mengoreksi

dan menentukan saat pengapian (*timing*) serta lamanya injektor menyemprotkan bahan bakar dengan mengirimkan arus listrik ke selenoid injektor. Pada beberapa sistem injeksi yang lebih baik, selain mengontrol penginjeksian, ECU juga berfungsi mengontrol sistem pengapian (Sutiman: 2005).

- b. *Intake Air Temperatur* (IAT) adalah sensor yang dipasang pada *throttle body*, berfungsi untuk mendeteksi temperatur udara yang masuk ke dalam silinder mesin. *Intake air temperatur sensor* adalah sebuah *thermistor*, yaitu resistor yang nilai tahanannya dapat berubah-ubah sesuai temperatur. Jenis *thermistor* yang digunakan adalah *Negative Temperature Coefficient* (NTC) dimana prinsip kerjanya adalah semakin tinggi temperatur semakin rendah nilai resistornya (Moch.Solikin: 2005).

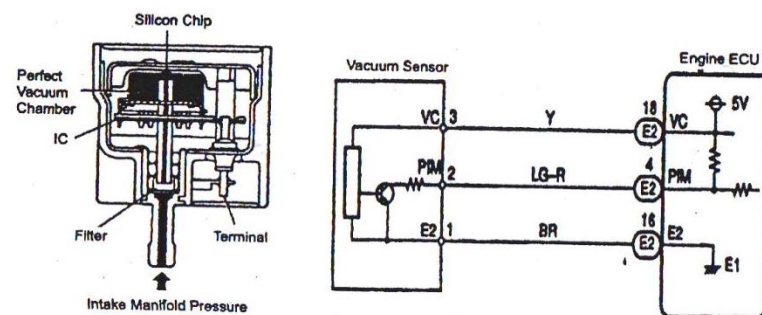


Gambar 5. Konstruksi dan Nilai Tahanan *Intake Air Temperature Sensor*

(Moch.Solikin: 2005)

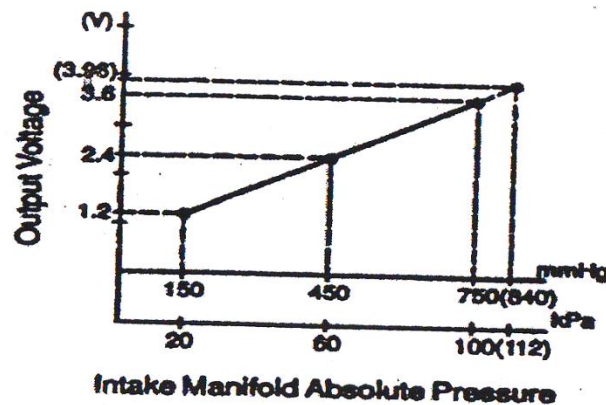
- c. *Manifold Absolute Pressure Sensor* (MAP) sensor yang berfungsi mengukur jumlah udara yang masuk ke dalam silinder mesin berdasarkan tekanan udara pada *intake manifold*. MAP sensor juga disebut *vacuum*

sensor atau *Pressure Intake Manifold (PIM)* sensor, MAP sensor adalah *piezoresistive silicon chip* yang mana nilai tahanannya dapat berubah-ubah karena perubahan tekanan dan sebuah *Integrated Circuit (IC)*. MAP dihubungkan ke *intake manifold* dengan menggunakan lubang kecil dibawah *throttle body*. (Moch.Solikin: 2005).



Gambar 6. MAP Sensor dan Rangkaiannya (Moch.Solikin: 2005)

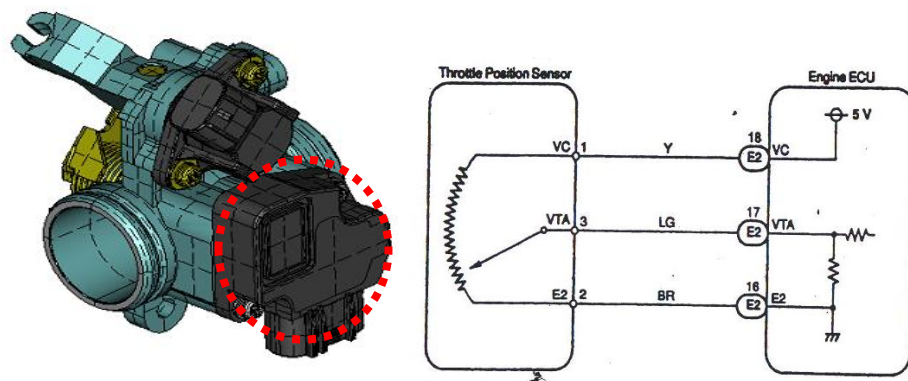
Semakin besar kevakuman (semakin rendah tekanan) pada *intake manifold* maka nilai tahanan pada MAP Sensor lebih tinggi, sehingga tegangan pada terminal MAP sensor semakin kecil. Hubungan terminal MAP sensor dengan tekanan pada *intake manifold* adalah sebagai berikut:



Gambar 7. Hubungan Output Voltage MAP Sensor dengan tekanan pada

Intake Manifold (Moch.Solikin: 2005)

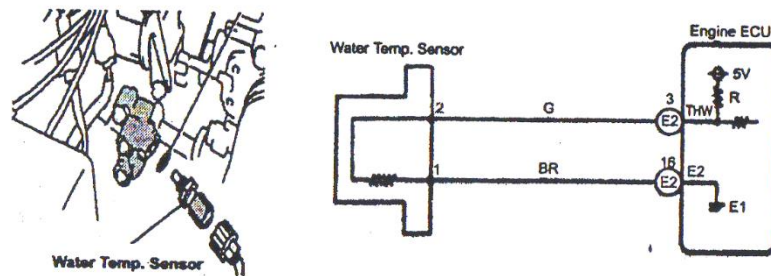
- d. *Throttle Position sensor* (TPS) merupakan sensor yang dipasang pada *throttle body* yang berfungsi untuk mendeteksi posisi bukaan katup gas (*throttle valve*). TPS sensor adalah sebuah potensiometer (*variable resistor*) yang mana nilai tahanannya berubah-ubah sebanding dengan perubahan bukaan *throttle* (Nono Budiarto: 2007).



Gambar 8. *Throttle Position sensor* dan Rangkaianya (Anonim)

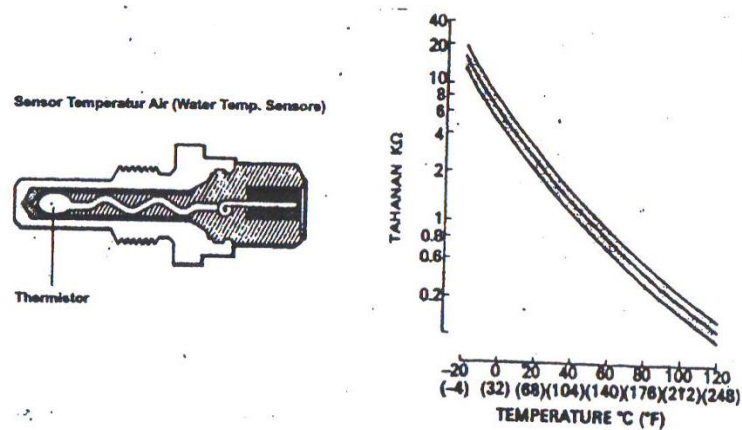
- e. *Water Temperatur sensor* merupakan sensor yang bekerja mendeteksi temperatur dari cairan pendingin mesin kemudian mengirim data tersebut

ke ECU, umumnya WTS digunakan pada mesin injeksi dengan tipe pendingin menggunakan cairan.



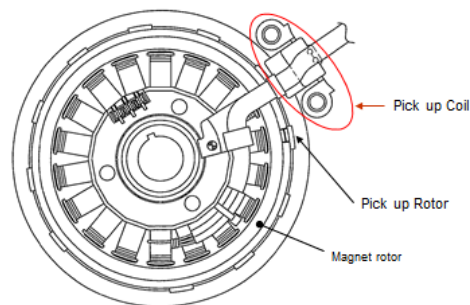
Gambar 9. *Water Temperatur Sensor* dan Rangkaianannya (Moch.Solikin: 2005)

Sama halnya dengan IATS, WTS merupakan *thermistor* yang nilai tahanannya berubah sesuai temperatur, jenis *thermistor* yang digunakan adalah *Negative Temperature Coefficient* (NTC) yaitu semakin tinggi temperatur semakin rendah nilai resistor. Konstruksi WTS dan hubungan temperatur dengan nilai tahanan resistor (Moch.Solikin: 2005).



Gambar 10. Konstruksi WTS dan Hubungan Temperatur Dengan Nilai Tahanan (Moch.Solikin: 2005)

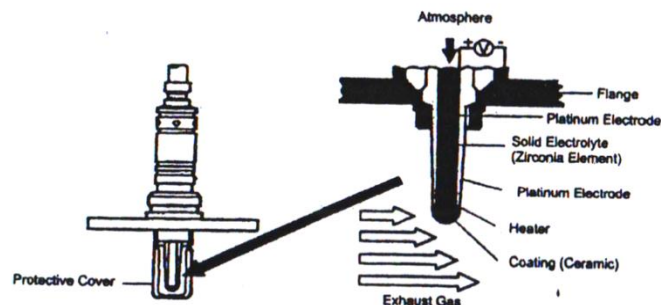
- f. *Crankshaft Position sensor* (CKP) merupakan sensor yang berfungsi mendeteksi posisi poros engkol, CKP akan selalu mengirimkan informasi/sinyal ke ECU, kemudian ECU akan mengolah data tersebut dan menentukan kapan waktu pengapian dan kapan waktu penginjeksian bahan bakar.



Gambar 11. CKP (*Crankshaft Position sensor*) (Anonim)

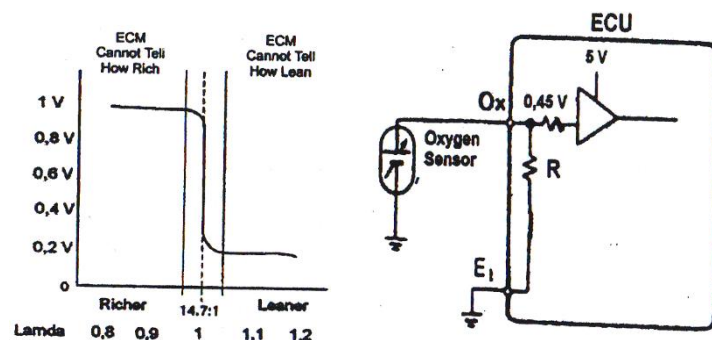
- g. *Bank Angle* sensor adalah sensor yang berfungsi untuk mendeteksi kemiringan sepeda motor. ECU (*Electronic Control Unit*) akan mematikan *signal* ke injektor, koil pengapian dan juga pompa bahan bakar apa bila kendaraan dalam posisi kemiringan lebih dari $55^{\circ} \pm 5^{\circ}$, sehingga mesin motor otomatis akan mati. Dengan adanya *bank angle* sensor memungkinkan mesin kendaraan segera mati bila pengendara terjatuh. Tetapi pada saat sepeda motor berbelok hingga sudut kemiringannya melebihi $55^{\circ} \pm 5^{\circ}$, mesin akan tetap hidup karena efek gaya sentrifugal saat kendaraan melaju membuat *bank angle* sensor tidak bekerja.
- h. *Oxygen sensor* merupakan sensor yang berfungsi sebagai pendeteksi kadar oksigen yang terkandung pada gas buang dari mesin, kemudian sensor ini akan mengoreksi dan memberi informasi pada ECU untuk kemudian ECU

mengolah informasi tersebut untuk selalu membuat campuran bakar dan udara selalu ideal dalam setiap proses pembakaran. Tidak semua sepeda motor injeksi juga menggunakan *oxygen sensor* (Moch.Solikin: 2005).



Gambar 12. Konstruksi *Oxygen Sensor* (Moch.Solikin: 2005)

Berdasarkan input dari *Oxygen Sensor*, ECU menambah atau mengurangi volume injeksi bahan bakar sehingga dapat diperoleh campuran bahan bakar *stocihimetric*.



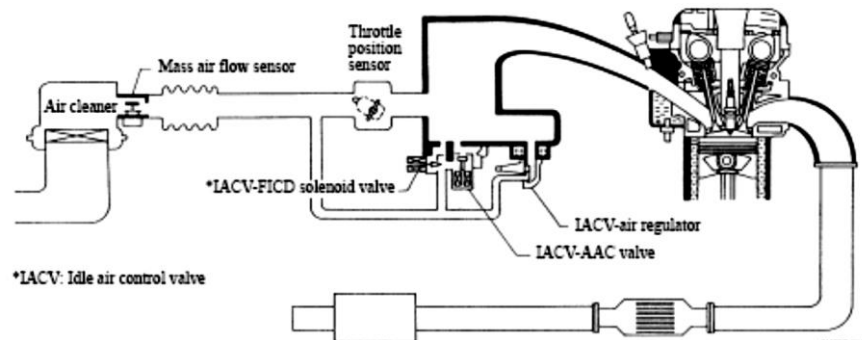
Gambar 13. Rangkaian dan Cara Kerja *Oxygen Sensor* (Moch.Solikin: 2005)

- i. *Malfunction Indicator Lamp* (MIL) merupakan lampu indikator yang berada di *speedometer* yang berfungsi sebagai penanda pada pengendara

tentang adanya kerusakan pada sistem injeksi. apabila dalam sistem injeksi terdapat salah satu sensor yang tidak berfungsi/rusak, maka MIL ini akan memberikan kode berupa kedipan sesuai dengan kode dari masing-masing sensor. Tetapi tidak semua komponen yang apabila rusak dapat terdeteksi oleh MIL, misalnya kerusakan pada pompa bahan bakar yang tekanannya melemah, kerusakan semacam ini tidak terdeteksi oleh MIL

3. Sistem Induksi Udara

Komponen yang termasuk ke dalam sistem induksi udara antara lain ; *air clener*, *intake manifold* dan *thorttle body* (tempat katup gas) sistem ini berfungsi untuk menyalurkan sejumlah udara yang diperlukan untuk proses pembakaran. Pada awalnya, fungsi piranti elektronik yang ada pada sistem induksi udara adalah hanya untuk mengetahui jumlah atau volume udara yang masuk ke *intake manifold* dan mengetahui temperatur udara agar ECU dapat menghitung massa udara yang masuk ke dalam ruang bakar. Perkembangan saat ini pengontrolan telah dapat dilakukan khususnya pada putaran rendah untuk mengontrol putaran *idle* dan putaran tinggi melalui program yang terintegrasi yang tersedia di dalam ECU guna meningkatkan *effisiensi volumetric* (Sutiman: 2005).



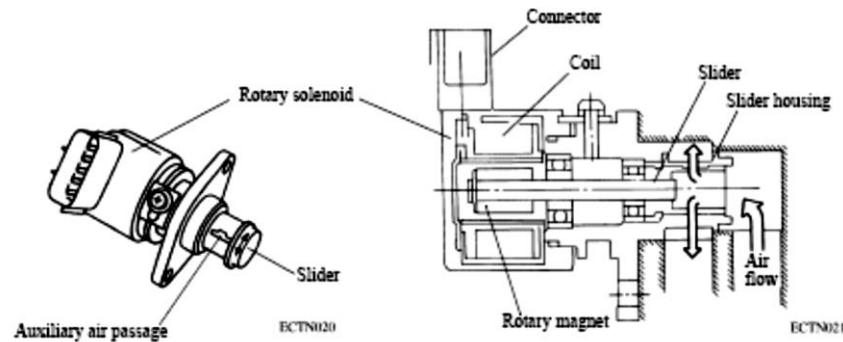
Gambar 14. Skema Sistem Induksi udara (Sutiman: 2005)

Sistem aliran udara dimulai dari filter udara untuk menyaring udara dari kotoran, *air metering* (berupa sensor temperatur dan *air flow meter*) menuju *throttle body*, *intake manifold* dan ke ruang bakar. Dalam sistem induksi udara ini, *control unit* membutuhkan data temperatur udara, volume dan densitas udara yang masuk ke ruang bakar. Data-data tersebut diperlukan untuk mengkalkulasi terpenuhinya campuran udara *stochiometric* oleh ECU. Pada putaran *idle*, teknologi *system control* mampu mengontrol putaran *idle* melalui *actuator* yang dikontrol oleh ECU sehingga diperoleh putaran *idle* yang tepat guna memenuhi kebutuhan *engine*.

Pengontrolan pada piranti *idle* untuk melengkapi kerja ECU pada saat *idle*, dibutuhkan data-data dari berbagai sensor seperti *Camshaft Position Sensor*, *Throttle Position Sensor*, *Water Temperatur Sensor*, *Air Conditioner switch*, tegangan baterai, *Vehicle speed sensor* dan lain-lain. Tujuan yang diharapkan dari kontrol *engine* pada sistem induksi udara ini pada saat *engine* bekerja pada putaran *idle* adalah :

- a. Untuk menyeimbangkan torsi yang dihasilkan dengan perubahan beban *engine*, sehingga mesin tetap dapat berputar secara stabil meskipun ada beban-beban listrik.
- b. Untuk menyajikan putaran rendah yang halus dengan emisi gas buang dan konsumsi bahan bakar rendah mengingat pemakaian kendaraan bermotor di dalam kota digunakan pada putaran *idle*.

Dikarenakan katup *throttle* yang besar mengakibatkan pembukaannya akan sangat sensitif terhadap putaran mesin, sehingga kecepatan *idle* akan susah dikontrol maka jumlah udara yang masuk melalui *intake manifold* di kontrol oleh katup *bypass* atau oleh sebuah *actuator* menggunakan motor listrik yang dikontrol ECU yang bekerja membuka dan menutup saluran dengan nilai yang telah ditetapkan. Dengan menggunakan umpan balik dari rpm *engine*, ECU dapat menyetel jumlah udara yang mengalir untuk menambah atau mengurangi putaran *idle*. Kelemahan pada kontrol udara ini relatif lebih lambat dalam merespon perubahan beban. Untuk mengatasi masalah ini, sistem kontrol udara dikombinasikan dengan kontrol sistem pengapian agar diperoleh putaran *idle* yang sesuai. Kebutuhan bahan bakar pada saat putaran *idle* ditentukan oleh beban dan putaran mesin. Dalam operasi kerja *closed loop* sistem nilai atau jumlah bahan bakar ini dioptimalkan oleh *lambda close loop control*. Contoh piranti pengontrol udara yang bekerja pada putaran *idle* dapat dilihat pada gambar berikut (Sutiman: 2005) :



Gambar 15. ISC Valve (Sutiman: 2005)

C. Cara Kerja Sistem Injeksi

Sistem EFI dirancang agar bisa melakukan penyemprotan bahan bakar yang jumlah dan waktunya ditentukan berdasarkan informasi dari sensor-sensor. Pengaturan dan koreksi campuran udara dan bahan bakar sangat penting dilakukan agar mesin dapat bekerja dengan optimal pada berbagai kondisi kerjanya. Oleh karena itu, keberadaan sensor-sensor yang memberikan informasi sangat penting untuk menentukan performa suatu mesin. Semakin lengkap sensor yang digunakan untuk mendeteksi kondisi mesin dari berbagai kondisi mesin berupa suhu, tekanan, putaran, kandungan gas, getaran mesin dan lain sebagainya akan lebih baik. Informasi tersebut akan bermanfaat bagi ECU untuk diolah guna memberikan perintah yang tepat kepada *injector*, sistem pengapian, pompa bahan bakar, dan lain sebagainya.

Jumlah injeksi bahan bakar dipengaruhi oleh tekanan bahan bakar, besar lubang injektor dan lama lubang injektor terbuka. Karena tekanan bahan bakar diatur tetap oleh *pressure fuel regulator* dan lubang injektor tetap, dengan demikian untuk menentukan jumlah bahan bakar yang diinjeksikan dengan cara menentukan

lamanya injektor ON yang biasa disebut dengan durasi injeksi. Semakin lama durasi injeksi maka semakin banyak jumlah bahan bakar yang diinjeksikan.

Durasi injeksi dikontrol oleh ECU berdasarkan input dari masukan sensor-sensor jumlah udara *air flow meter*/ MAP sensor, temperatur udara, putaran mesin, temperatur mesin, posisi pembukaan katup gas (TPS) dan emisi gas buang (*oxygen sensor*). Durasi injeksi dikelompokkan menjadi 2 yaitu saat *starter* mesin dan setelah *starter* sistem kontrol yang bekerja adalah sebagai berikut:

1. Durasi injeksi saat *starter*

Durasi injeksi saat *starter* terdiri dari durasi injeksi dasar dan koreksi durasi saat *starter*. Koreksi durasi saat *starter* meliputi koreksi temperatur udara masuk dan koreksi tegangan baterai.

- a. Durasi injeksi dasar (*Basic Injection Duration*)

Durasi injeksi dasar ditentukan berdasarkan dua faktor utama yaitu jumlah udara yang masuk ke dalam silinder dan dari putaran mesin.

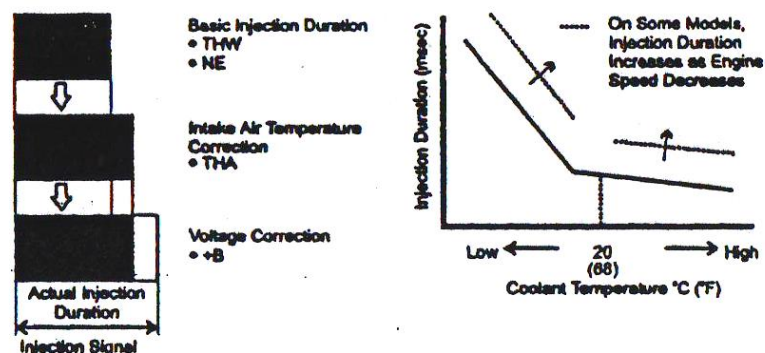
- b. Koreksi temperatur udara masuk (*Intake Air Temperature Corection*)

Koreksi temperatur udara masuk merupakan penambahan lamanya durasi injeksi, pada saat temperatur udara dingin dengan volume udara yang sama maka akan menghasilkan masa yang lebih berat daripada temperatur udara saat panas. Oleh karena itu temperatur udara perlu dikoreksi agar perbandingan campuran udara dan bahan bakar tepat.

- c. Koreksi baterai (*Battery Correction*)

Koreksi baterai merupakan penambahan lama injeksi sebagai koreksi perubahan tegangan baterai. Pada saat *starter* terjadi penurunan tegangan

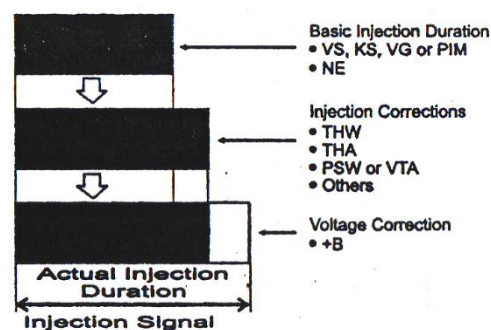
baterai (*voltage drop*), sehingga injektor tidak segera membuka walaupun sudah menerima signal dari ECU, kondisi tersebut akan menyebabkan terjadinya kesalahan jumlah injeksi bahan bakar, sehingga durasi injeksi dapat digambarkan seperti berikut :



Gambar 16. Durasi Injeksi Saat *Starter* (Moch.Solikin: 2005)

2. Durasi Injeksi Setelah *Starter*

Durasi injeksi setelah *starter* terdiri dari durasi injeksi dasar (*basic injection duration control*), koreksi durasi injeksi (*injection correction*), koreksi tegangan baterai (*voltage correction*). Durasi injeksi setelah *starter* dapat digambarkan sebagai berikut:

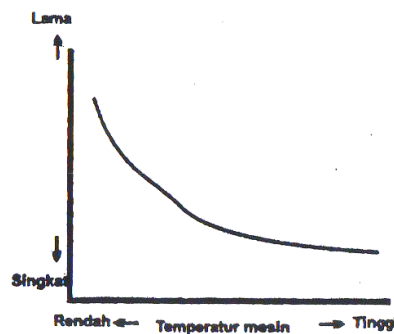


Gambar 17. Durasi Injeksi Setelah *Starter* (Moch.Solikin: 2005)

Koreksi durasi injeksi untuk menentukan lamanya injektor membuka akan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain akan dijelaskan sebagai berikut:

a. Koreksi temperatur udara masuk (*intake air temperature correction*)

Koreksi udara masuk merupakan penambahan durasi lamanya injeksi bahan bakar berdasarkan koreksi temperatur udara masuk menggunakan *input* data sensor temperatur udara (*Air Temperature Sensor*).



Gambar 18. Hubungan Temperatur Mesin dengan Durasi Injeksi

(Moch.Solikin: 2005)

b. Penambahan setelah *start* (*After Start Enrichment*)

Penambahan setelah *starter* merupakan penambahan jumlah injeksi sehingga campuran bahan bakar dan udara akan lebih kaya (*enrichment*) untuk menjaga mesin tetap stabil setelah mesin hidup, fungsi koreksi ini berdasarkan koreksi temperatur mesin.

c. Penambahan durasi untuk pemanasan (*Warm-up enrichment*)

Penambahan jumlah injeksi selama mesin masih dingin, agar perbandingan campuran udara bahan bakar tetap optimal.

d. Koreksi perbandingan udara dan bahan bakar (*Air Fuel Ratio Correction*)

Koreksi perbandingan campuran udara dan bahan bakar dapat dibagi menjadi dua yaitu :

1) Saat percepatan (*accleration mode*)

Saat pedal gas tiba-tiba diinjak maka *thorttle valve* membuka lebar, saat kevakuman pada *intake manifold* melemah (tekanan naik) karena putaran mesin masih rendah. ECU mendeteksi kondisi tersebut melalui MAP sensor dan *thorttle position sensor* (TPS) untuk menambah jumlah injeksi atau kompensasi > 0 (Compensation rate > 0) (Moch.Solikin: 2005).

2) Saat perlambatan (*Deceleration mode*)

Saat pedal gas dilepas maka *thorttle valve* menutup, sehingga kevakuman di dalam *intake manifold* tinggi (tekanan rendah) karena putaran mesin masih tinggi dan bukaan *thorttle* kecil. ECU mendeteksi kondisi tersebut melalui MAP sensor dan *thorttle position sensor* (TPS) untuk mengurangi jumlah injeksi atau kompensasi < 0 (Compensation rate < 0) (Moch.Solikin: 2005).

e. Koreksi tenaga (*Power Enrichment Correction*)

Saat mesin dalam kondisi beban penuh diperlukan adanya penambahan jumlah penginjeksian bahan bakar agar tenaga mesin naik. Indikasi mesin beban penuh adalah dari *pembukaan thorttle valve* membuka penuh namun putaran mesin masih rendah.

Penambahan jumlah injeksi berdasarkan kontrol dari ECU dan mengambil *input* data berdasarkan masukan dari MAP sensor, *throttle position sensor* (TPS) *NE signal* dan *Speed sensor* (Moch.Solikin: 2005).

f. Penghentian injeksi (*Fuel Cut Injection*)

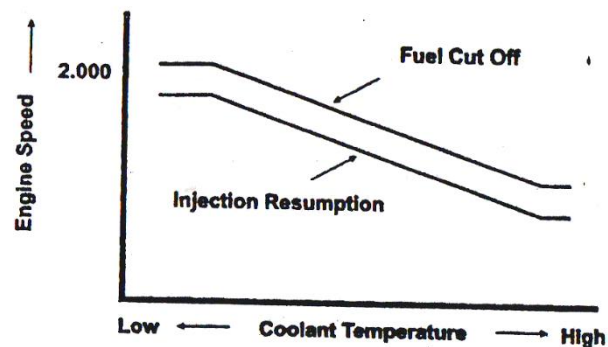
Penghentian injeksi (*Fuel cut injection*) dapat terjadi saat :

1) Penghentian injeksi pada putaran berlebih (*overrunning*)

Fuel cut injection merupakan penghentian signal dari ECU ke injektor selama beberapa saat sehingga tidak terjadi injeksi bahan bakar. ECU melakukan *fuel cut* berdasarkan *input* data dari sensor putaran mesin (*NE signal*). *Fuel cut injection* pada putaran tinggi terjadi apabila mesin bekerja melebihi batas putaran yang ditentukan, batas maksimal putaran mesin setiap merek dan jenis kendaraan memiliki perbedaan. Tujuan dari *fuel cut injection* adalah melindungi mesin dari kerusakan akibat putaran berlebihan (Moch.Solikin: 2005).

1) Penghentian injeksi pada saat perlambatan (*Deceleration*)

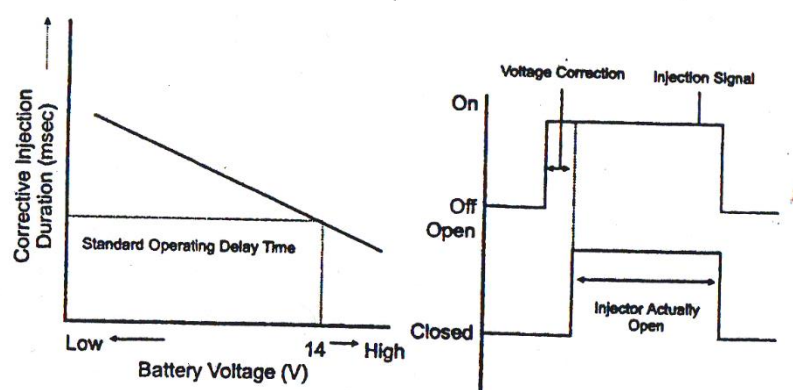
Deceleration fuel cut injection bertujuan untuk menghemat konsumsi bahan bakar dan mencegah *catalyst* bekerja terlalu panas. Kerja dari *deceleration fuel cut injection* berdasarkan input data dari MAP sensor, *throttle position sensor* dan temperatur mesin. Saat mesin dalam kondisi dingin penghentian injeksi akan terjadi pada putaran yang lebih tinggi (Moch.Solikin: 2005).



Gambar 19. Pengaruh *Temperature*, Kecepatan Mesin terhadap Fungsi *Fuel Cut* (Moch.Solikin: 2005)

g. Koreksi Baterai (*Batertey Correction*)

Saat kendaraan bekerja terjadi *fluktuasi* tegangan baterai akibat dari perubahan beban kelistrikan. Perubahan tegangan baterai mempengaruhi kecepatan injektor membuka, sehingga waktu membuka injektor akan berbeda dibandingkan dengan durasi injeksi berdasarkan signal dari ECU. Adanya koreksi tegangan baterai berfungsi untuk mencegah terjadinya kesalahan jumlah bahan bakar yang diinjeksikan (Moch.Solikin: 2005).

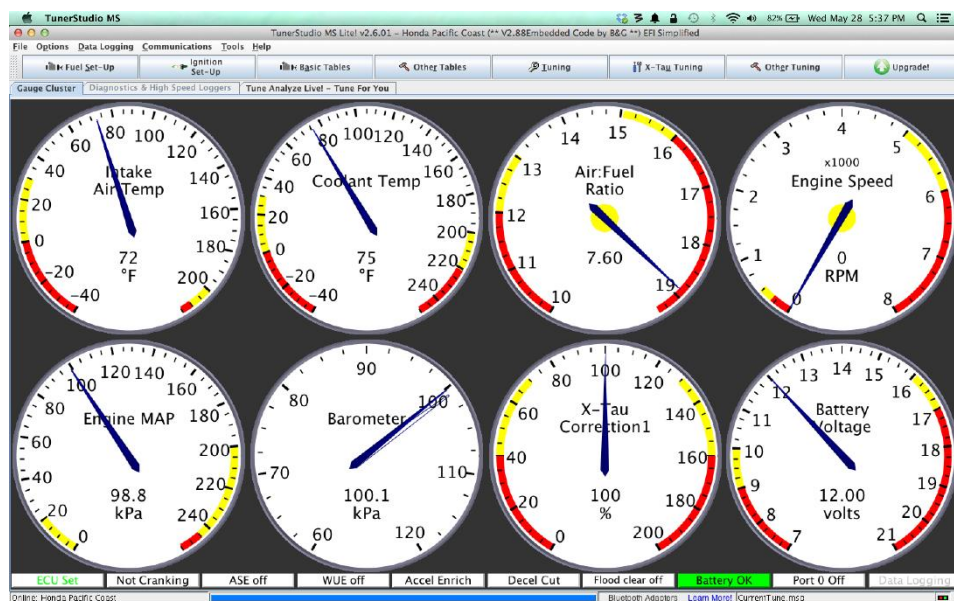


Gambar 20. Koreksi Tegangan Baterai (Moch.Solikin: 2005)

D. ECU Programmable Megasquirt 3

Megasquirt adalah pengontrol bahan bakar elektronik aftermarket (EFI) yang dirancang untuk digunakan dengan berbagai mesin pembakaran internal spark-ignition (yaitu mesin diesel non-diesel). ECU jenis ini bersifat *programmable* sehingga dapat di *setting* mulai *Injection Mapping* (Koreksi Mapping), *Ignition Timing* (Kurva Pengapian), *Revolution Limiter* (Batasan putaran Mesin), *Injection Timing* (Waktu penyemprotan), dan Kalibrasi TPS (*Throttle Position Sensor*).

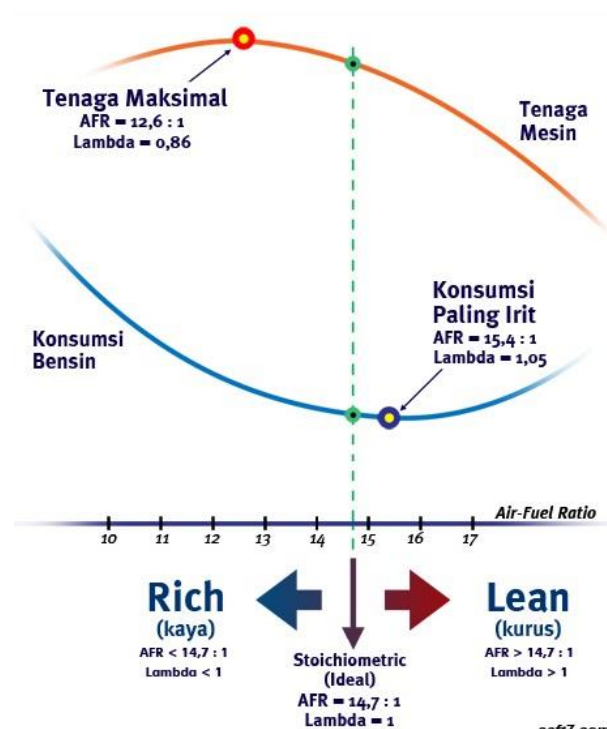
Setting ini disesuaikan dengan kebutuhan mesin yang akan digunakan pada kondisi tertentu misalnya jenis balap maupun hemat energi. *Megasquirt* dirancang oleh Bruce Bowling dan Al Grippo pada tahun 2001. *Megasquirt-III* saat ini menggunakan prosesor 16bit MC9S12XEP100 yang berjalan pada 50 MHz yang mencakup inti RISC 100 MHz sehingga terdapat pengolahan data yang lebih cepat efeknya dan respon mesin juga akan lebih cepat terhadap *input-an* sensor.



Gambar 21. Tampilan utama dan fitur dari *Megasquirt-III* (MS-3)

E. Pengaruh Air Fuel Ratio terhadap Tenaga Mesin

Pembakaran yang optimal memerlukan campuran bahan bakar dan udara yang tepat. Campuran udara dan bahan bakar sering disebut dengan AFR (*Air Fuel Ratio*) yang perbandingan idealnya sebesar 14,7 : 1 yang artinya campuran tersebut terdiri dari rasio udara-bahan bakar diukur dalam satuan massa. Sebagai contoh, rasio udara-bahan bakar dari 14,7: 1 berarti untuk setiap satu massa bahan bakar, berbanding dengan 14,7 kali massa di udara. Pengaruh AFR terhadap daya mesin dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



Gambar 22. Diagram Pagaruh AFR Terhadap Daya Mesin

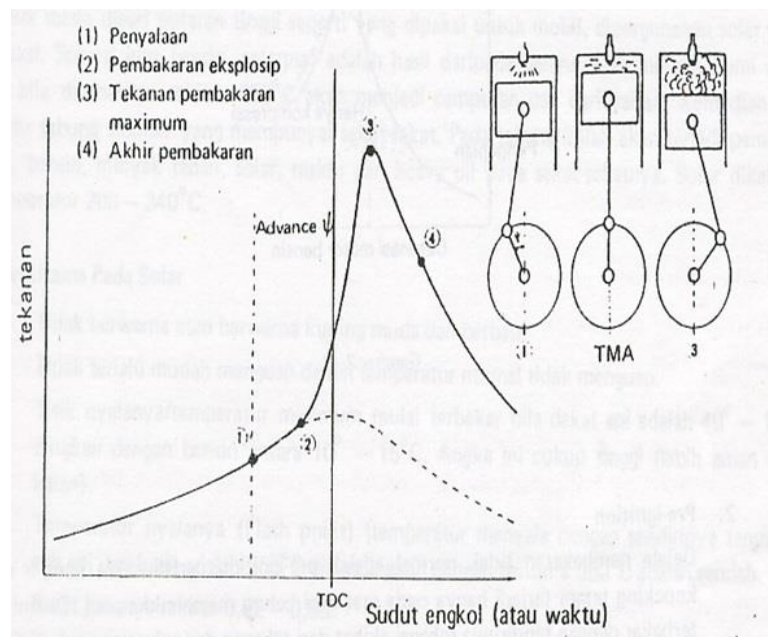
Diagram tersebut menggambarkan beberapa poin penting. Pertama, konsep campuran stoikiometri itu adalah titik dimana oksigen cukup untuk membakar

100% dari bahan bakar. Pada mesin injeksi pengaturan AFR dilakukan oleh ECU berdasarkan referensi dari berbagai macam sensor sensor yang berfungsi untuk mendeteksi kondisi dari mesin tersebut

F. Pengaruh *Timing* Pengapian terhadap Tenaga Mesin

Timing pengapian dapat didefinisikan sebagai waktu atau saat dimana busi mulai memantikkan api di ruang bakar, terkait dengan posisi piston pada waktu langkah kompresi. *Timing* pengapian biasanya diukur dalam satuan derajat posisi piston dan kruk as sebelum titik mati atas (TMA).

Untuk memperoleh *output* daya yang maksimal dari mesin, maka *timing* pengapian harus berada pada waktu yang tepat yaitu kurang dari beberapa derajat sebelum piston melewati titik mati atas sehingga diperoleh tekanan optimal dari hasil pembakaran. *Timing* pengapian juga harus disesuaikan dengan perubahan putaran mesin, dikarenakan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses pembakaran di dalam silinder selalu sama namun waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu siklus selalu bervariasi di setiap perubahan putaran mesin dikarenakan perbedaan putaran dan beban mesin. Apabila saat pengapian sesuai, maka kurva tekanan maksimal dari hasil pembakaran dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 23. Pengaruh Pengajuan Timing Pengapian terhadap Tekanan Hasil Pembakaran (Anonim)

BAB III

KONSEP RANCANGAN

Sistem bahan bakar injeksi atau EFI (*Electronic Fuel Injection*) merupakan sistem penyuplai bahan bakar pada kendaraan bermotor yang bekerja secara elektronik, dikontrol oleh ECU (*Electronic Control Unit*) berdasarkan data atau informasi yang diterima dari berbagai sensor yang terpasang pada mesin guna menyuplai jumlah dan komposisi campuran udara dan bahan bakar yang tepat serta *ignition timing* sesuai dengan setiap kondisi mesin.

Modifikasi sistem injeksi pada mobil Garuda *Urban Gasoline* UNY team ini terdiri dari tinjauan sistem kontrol elektronik yang dirancang sedemikian rupa sehingga dalam modifikasi ini, semua komponen sistem kontrol elektronik dapat bekerja dengan baik dan mampu bekerja sebagaimana mestinya. Modifikasi sistem injeksi meliputi pemasangan, *wiring*, sensor, *actuator*, dan pemrograman ECU MS-3 pada mobil Garuda *Urban Gasoline* UNY team sebagai inovasi sekaligus pengganti sistem yang diterapkan sebelumnya, yaitu sistem injeksi standar ECU Honda Kharisma 125 yang belum dapat digunakan untuk mengatur *timing* injeksi, *timing* pengapian dan volume injeksi. Hal tersebut dilakukan karena untuk kebutuhan kompetisi, diperlukan pengaturan *timing* injeksi, *timing* pengapian dan volume injeksi sesuai dengan kebutuhan *engine* guna menghasilkan tenaga semaksimal mungkin dengan konsumsi bahan bakar yang lebih ekonomis.

A. Analisis Kebutuhan Modifikasi

Bertambahnya jumlah kendaraan bermotor dan banyaknya pemakaian kendaraan bermotor setiap harinya menjadi penyebab utama meningkatnya polusi udara serta kelangkaan minyak bumi di Indonesia. Hal ini membuat para produsen kendaraan bermotor termotivasi untuk terus melakukan inovasi agar produk yang mereka hasilkan dapat lebih menghemat bahan bakar, ramah lingkungan dan rendah emisi. Oleh sebab itu, saat ini kendaraan bermotor dengan sistem bahan bakar karburator mulai ditinggalkan dan digantikan oleh sistem bahan bakar injeksi atau EFI karena sistem bahan bakar EFI diklaim lebih efisien, ramah lingkungan dan rendah emisi.

Saat ini, banyak perguruan tinggi yang sudah mulai mempelajari dan bahkan ada juga yang sudah menciptakan mobil yang ramah lingkungan. Beberapa kompetisi mobil ramah lingkungan pun mulai sering diadakan baik tingkat nasional maupun tingkat internasional. Salah satunya adalah kompetisi *Shell Eco Marathon* Asia yang diadakan bulan Maret tahun 2017 di Singapura. Dalam kompetisi tersebut, untuk pertama kalinya Universitas Negeri Yogyakarta menjadi salah satu peserta dengan menurunkan mobil Garuda *Urban Gasoline*.

Sistem utama pada mobil Garuda *Urban Gasoline* ini terdiri dari beberapa komponen utama yaitu *body*, *chassis*, sistem kemudi, rem dan suspensi, *engine*, sistem pemindah tenaga dan sistem penggerak. Kebutuhan *engine* yang akan digunakan untuk mengikuti kompetisi SEM diharapkan memiliki performa yang optimal serta efisiensi bahan bakar yang tinggi. Oleh karena itu, agar *engine* yang

akan digunakan memiliki performa seperti yang diinginkan, dilakukan modifikasi pada sistem kontrol elektronik. Dalam modifikasi ini, dibutuhkan perencanaan modifikasi yang baik meliputi kebutuhan-kebutuhan penunjang. Modifikasi teknologi yang inovatif dengan merubahan sistem kontrol elektronik dilakukan untuk memaksimalkan kinerja *engine* agar mampu bekerja dengan efisien. Modifikasi sistem injeksi dilakukan pada *engine* Honda Kharisma 125 dari yang sebelumnya menggunakan ECU *non programmable* menjadi *ECU programmable* MS-3 pada Mobil Garuda *Urban Gasoline*.

B. Perancangan Modifikasi

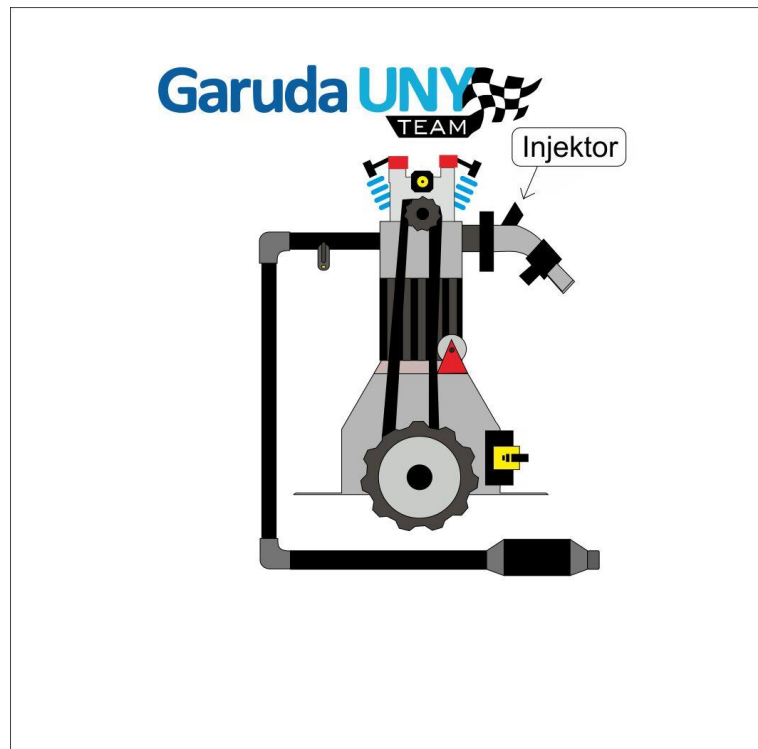
Konsep dan pelaksanaan modifikasi ini dapat terealisasi dengan baik apabila disertai dengan pemikiran dan perencanaan yang matang. Secara garis besar, modifikasi sistem bahan bakar injeksi ini terdiri dari tinjauan utama, yaitu tinjauan sistem kontrol elektronik. Perancangan sistem kontrol elektronik meliputi perancangan dan pemasangan komponen *wiring*, *sensor*, komponen pengontrol seperti ECU, beserta sensor-sensor dan pemrograman ECU. Dalam laporan proyek akhir ini akan dibahas lebih mendalam mengenai tinjauan sistem kontrol elektronik.

Tinjauan sistem kontrol elektronik secara garis besar merupakan bagian dari sistem EFI yang berfungsi untuk mengontrol jumlah injeksi bahan bakar dan saat pengapian sesuai dengan kondisi kerja mesin. Cakupan mengenai sistem kontrol elektronik berupa sensor-sensor yang berfungsi untuk mendeteksi kondisi *engine* yang dibutuhkan ECU dan mengontrol sistem kelistrikan dengan *output* melalui *actuator* yang berfungsi untuk menentukan jumlah injeksi dan saat pengapian sesuai dengan yang dibutuhkan oleh *engine*.

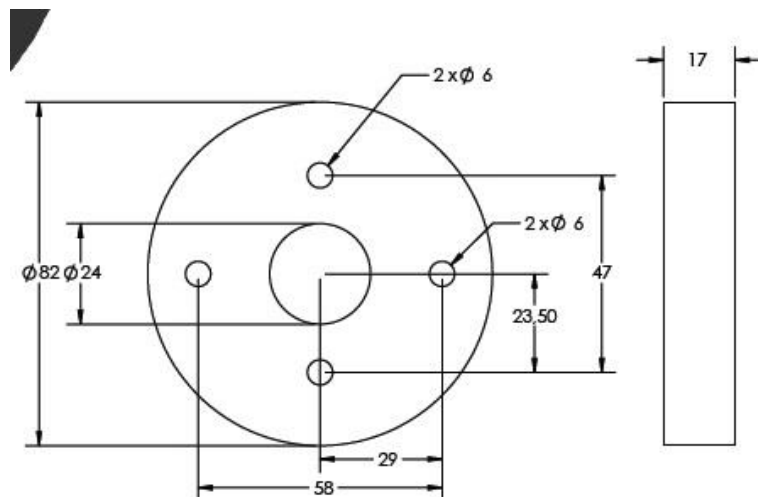
Perancangan sistem kontrol elektronik pada modifikasi ini meliputi pembuatan dan pemasangan komponen-komponen meliputi *adapter*, sensor-sensor, *actuator*, sistem bahan bakar, *wiring* serta pemrograman ECU dalam sistem kontrol elektronik, diantaranya adalah:

1. Pemasangan *intake manifold* dan injektor

Pada modifikasi ini *intake manifold* yang digunakan adalah *intake manifold* dari Yamaha Jupiter Z1, dimensi/ ukuran dari *intake manifold* tersebut tidak berbeda jauh dengan *intake manifold* Honda Kharisma, untuk menyesuaikan *throttle body* yang akan dipasang menggunakan Yamaha Jupiter Z1 sehingga pemasangan akan sedikit lebih mudah. Tetapi jarak antara kedua lubang baut pengikat pada *intake manifold* Yamaha Jupiter Z1 lebih besar dengan ukuran 58 mm sedangkan jarak baut pada *intake* Honda Kharisma berukuran 47 mm, sehingga perlu dilakukan modifikasi yaitu membuat lubang baut dengan jarak dan ukuran yang disamakan dengan *engine* Honda Kharisma. Kemudian setelah *intake manifold* terpasang dengan baik, proses selanjutnya adalah memasang *throttle body* dan injektor pada *intake manifold* tersebut, dimana komponen *throttle body* dan injektor yang digunakan pada modifikasi ini juga menggunakan *sparepart* dari Yamaha Jupiter Z1, sehingga pemasangannya mudah disesuaikan.



Gambar 24. Posisi Injektor (Anonim)

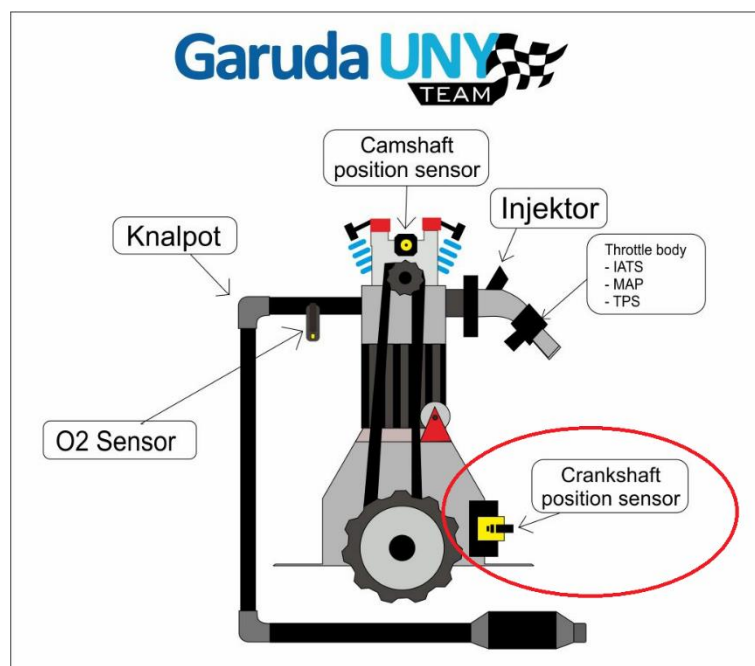


Gambar 25. Desain adapter *Intake Manifold* (Anonim)

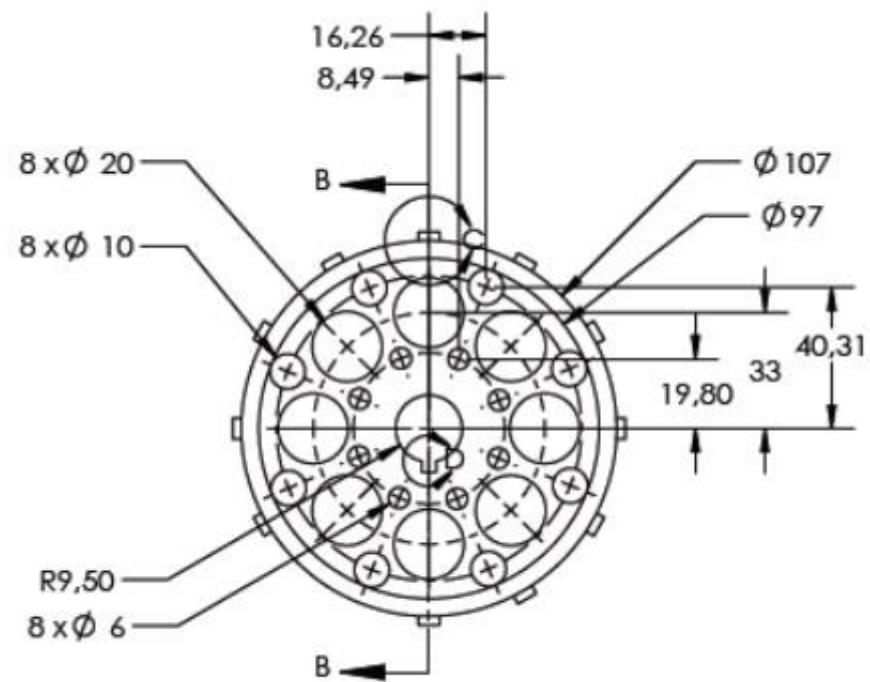
2. Rancangan pemasangan *Crankshaft Position sensor*

CKP (*Crankshaft Position sensor*) merupakan sensor yang berfungsi mendeteksi posisi poros engkol, CKP akan selalu mengirimkan informasi/

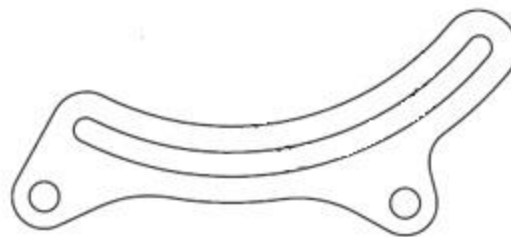
sinyal ke ECU, kemudian ECU akan mengolah data tersebut dan menentukan kapan waktu pengapian dan kapan waktu penginjeksian bahan bakar. *Rotor* dan *Crankshaft Position sensor* dipasang secara kuat dimana untuk peletakan *timing* CKP-nya dapat fleksibel karena di *setting-an* ECU-nya dapat kita *programmable* posisi derajat CKP-nya sehingga memudahkan dalam pemasangannya. Dalam hal ini harus dilakukan pembuatan *rotor* baru serta *mounting* dan *adapter* CKP. Pembuatan *rotor* baru ini dikarenakan modifikasi letak *rotor* dipindah dibagian kanan *engine* dimana sebelumnya terletak di kiri *engine*. Serta pembuatan *mounting* CKP ini diperlukan karena untuk pengikatan sensor CKP.



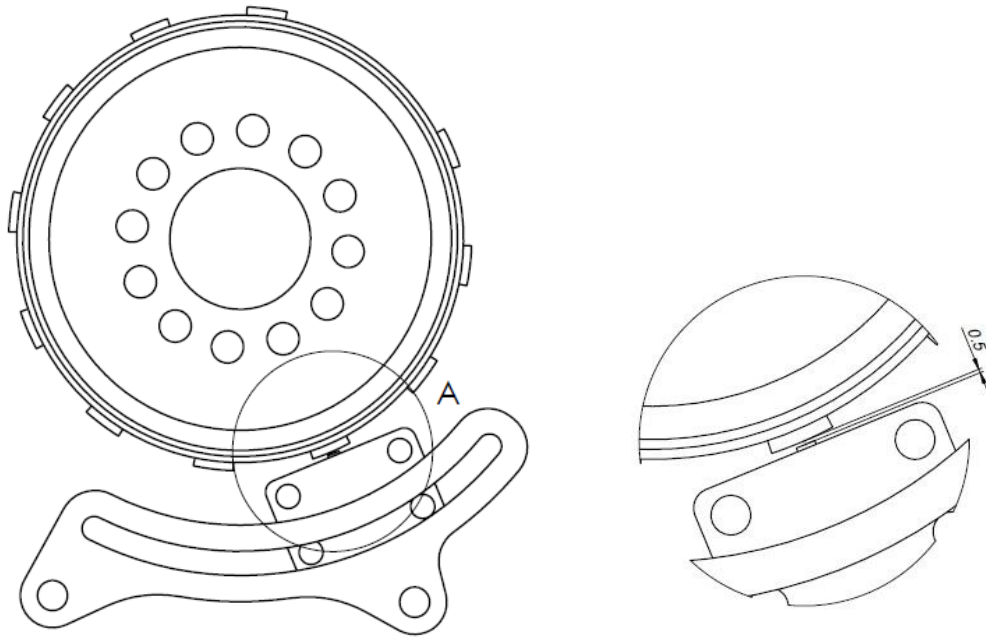
Gambar 26. Posisi sensor CKP pada mesin (Anonim)



Gambar 27. Desain Rotor



Gambar 28. Desain Mounting CKP



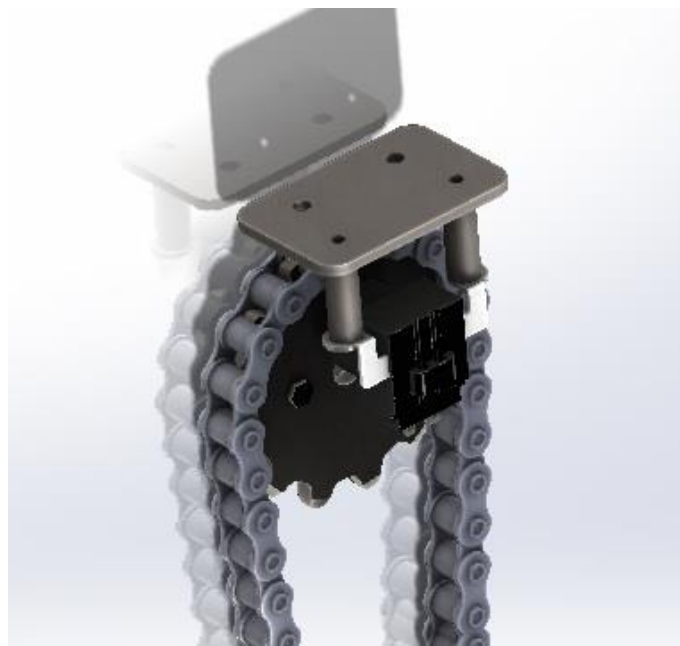
Gambar 29. *Air Gap Antara Rotor Dengan CKP (Anonim)*

3. Pemasangan *chamsaft* sensor

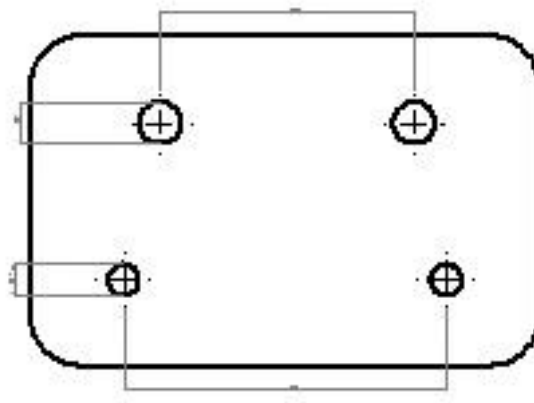
Pada ECU MS 3 ini diperlukan adanya sensor *camshaft* untuk memberikan data masukan ke ECU tentang posisi langkah mesin, menentukan langkah hisap dimana terjadi pembukaan injektor/ penginjeksian. Sensor ini perlu dibuat karena ECU MS-3 harus menggunakan acuan pada sensor CMP.



Gambar 30. Posisi Pemasangan CMP pada Engine (Anonim)



Gambar 31 . Posisi Sensor CMP pada Gigi Sentrik *Chamshaft*

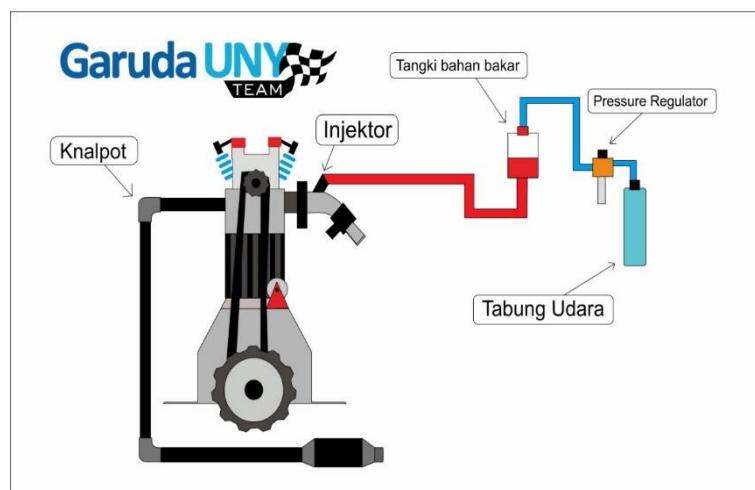


Gambar 32. Desain *Mounting* Sensor CMP

4. Pembuatan sistem bahan bakar

Sistem bahan bakar berfungsi untuk menyimpan dan menyuplai bahan bakar ke dalam ruang bakar untuk proses pembakaran pada mesin. Pada umumnya pada mesin EFI terdapat beberapa komponen berupa *Fuel pump*, tangki bahan bakar, selang bahan bakar, dan injektor. Namun berdasarkan regulasi *Shell Eco Marathon* pada *Article 62* disebutkan dimana sistem bahan bakar pada *internal combustion engine* dilarang menggunakan *fuel pump* elektrik namun harus dengan sistem tekanan udara yang diatur *output*-nya antara 3-5 bar melewati *regulator* dan *preassure gauge* menuju tangki bahan bakar. Maka dari itu dilakukan penggantian sistem tersebut dengan beberapa komponen berupa botol soda biasa dilengkapi

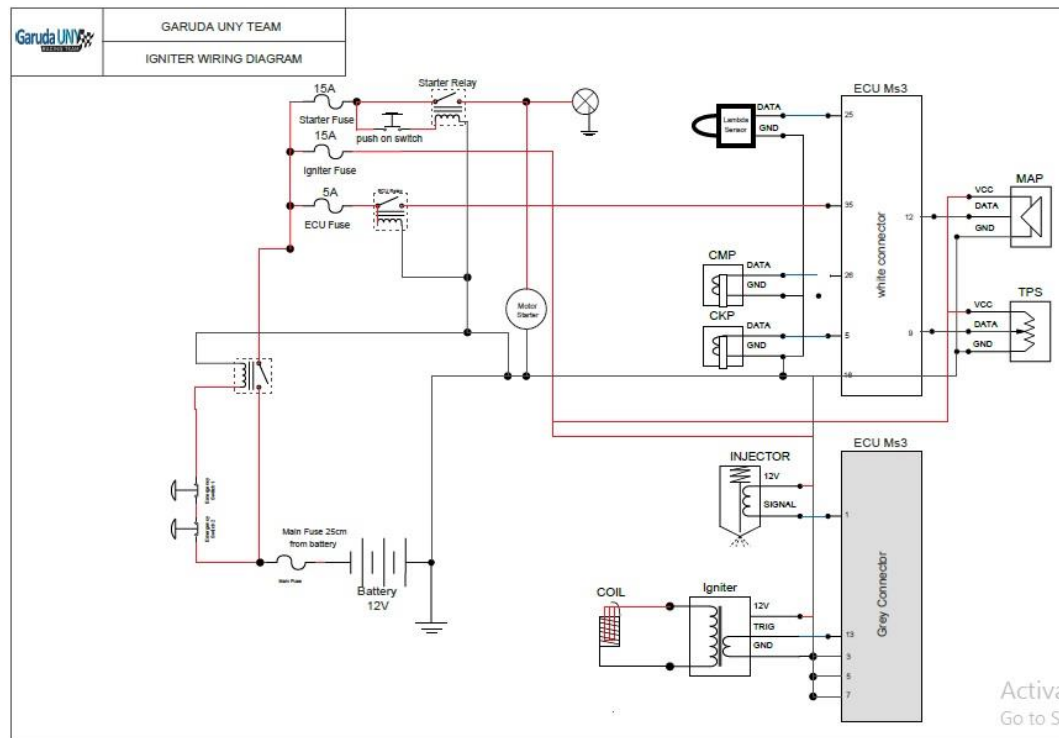
dengan katup ASU (*Air Supply Unit*) untuk mengumpulkan udara sampai dengan 5 bar, sebuah katup pengaman akan ditetapkan untuk melepaskan tekanan berlebih, dan katup penutup akan ditempatkan *inline*, sebagai per pedoman kompetisi. Tekanan ini kemudian akan dikurangi menjadi 3 bar dengan *regulator*, untuk memenuhi persyaratan tekanan operasional injektor, dan kemudian akan diteruskan ke tangki bahan bakar. Bahan bakar bertekanan kemudian berjalan menuju injektor.



Gambar 33. Diagram Sistem Bahan Bakar

5. Pemasangan *wiring* sensor, dan *actuator* ke ECU

Sensor-sensor berfungsi untuk memberikan data yang akan diolah oleh ECU dan memberikan *feed back* dengan cara mengontrol *actuator* yang berfungsi untuk menyajikan dan memberikan daya mesin yang optimal melalui sistem kerja yang akurat mengontrol jumlah penginjeksian bahan bakar dan *timing* pengapian disesuaikan dengan kondisi mesin. *Wiring harness*, sensor, dan *actuator* yang dipasang disesuaikan dengan posisi *engine*, rangka, sensor-sensor dan komponen yang lainnya.



Gambar 34. *Wiring Diagram* Sistem Injeksi ECU *Programmable* (Anonim)

6. Pemrograman ECU

ECU *programmable* ini dapat digunakan untuk mengatur *timing* pengapian, *timing* injeksi volume injeksi serta kalibrasi. Pada saat awal pemasangan ECU diperlukan adanya pengecekan kondisi sensor dengan konektor *setting*-an ECU sehingga dapat memastikan kerja ECU sudah siap dan pemrograman ECU berfungsi untuk menghasilkan penyettingan yang lebih akurat.



Gambar 35. ECU MS-3

a. Kalibrasi TPS

Pertamkali yang harus dilakukan sebelum pemrograman ECU adalah mengkalibrasi TPS sehingga dapat diperoleh hasil yang lebih akurat dan performa yang lebih optimal. Langkah-langkah megkalibrasi TPS ini adalah klik menu pada *Tools -> Calibrate TPS ->Get Current Closed Throotle ADC count -> Get Current Closed Throotle ADC count -> accept.*



Gambar 36. Langkah kalibrasi TPS

b. Pemeriksaan Hasil Kalibrasi

Setelah proses kalibrasi selesai maka dilakukan pemeriksaan dengan cara membuka dan menutup *throttle* kemudian melihat nilai pada histogram *Throttle Position Sensor*. Nilai tersebut didapat ketika *throttle* tertutup maka menghasilkan nilai 0% dan ketika *throttle* terbuka penuh maka menghasilkan nilai 100%.

c. Penyetingan Volume Injeksi

Penyetingan *mapping fuel* atau volume injeksi diperlukan untuk mengatur jumlah debit bahan bakar yang masuk. Penyetingan ini dilakukan dengan cara pilih menu *Fuel Settings* -> *Fuel Ve Table* -> dan mengisi *mapping fuel / VE table*.



Gambar 37. Langkah *Setting Volume* Bahan Bakar

d. Penyetingan *Timing* Pengapian

Setelah menyelesaikan proses penyettingan bahan bakar maka di lakukan penyettingan *timing* pengapian. Hal ini untuk menentukan *timing* pembakaran mesin. Langkah – langkahnya adalah pilih menu *Ignition Settings* -> *Ignition Table* -> Mengisi nilai angka *timing Ignition table*.



Gambar 38. Langkah Setting *Timing* Pengapian

C. Kebutuhan Alat dan Bahan

Proses pelaksanaan modifikasi sistem kontrol elektronik ini membutuhkan beberapa bahan dan alat penunjang serta komponen-komponen pada sistem bahan bakar injeksi sepeda motor. Dalam modifikasi ini komponen yang digunakan adalah komponen injeksi pada ECU *Megasquirt 3*. Peralatan penunjang tersebut digunakan selama proses modifikasi hingga proses pengujian dari sepeda motor tersebut.

Adapun rancangan alat penunjang dan bahan yang akan digunakan diantaranya:

- | | |
|--------------------------------------|--------------------|
| 1. Tool Box | 7. Bor Listrik |
| 2. Kunci L set | 8. Las Listrik |
| 3. Kunci T 8,10,13,14,17 dan 19 | 9. Soldier |
| 4. Tracker magnet Honda Kharisma 125 | 10. Pengupas kabel |
| 5. Multi Meter | 11. Gunting |
| 6. Gerinda Potong | 12. Busur derajat |

Kemudian rancangan komponen yang digunakan dalam modifikasi ini adalah dengan menggunakan komponen-komponen perangkat sistem bahan bakar injeksi yang digunakan, diantaranya adalah:

- | | |
|---------------------------------------|----------------------|
| 1. ECU (<i>Engine Control Unit</i>) | 11. <i>Fuel line</i> |
| 2. <i>Programmable</i> | 12. <i>regulator</i> |
| 2. Laptop | 13. <i>CKP</i> |
| 3. <i>O₂ Sensor</i> | |
| 4. <i>Thermo Sensor</i> | |
| 5. <i>Ignition Coil</i> | |
| 6. <i>Wire Harness</i> (kabel body) | |
| 7. <i>Injector</i> | |
| 8. <i>Throttle body</i> | |
| 9. <i>Tabung bahan bakar</i> | |
| 10. <i>Air tank</i> | |

D. Rencana Kegiatan

Proses modifikasi sistem bahan bakar injeksi ini perlu diadakannya penjadwalan agar dapat berjalan dengan lancar dan matang, mulai dari tahap pengujian awal, persiapan, pelaksanaan hingga tahap pengujian akhir. Adapun perancangan jadwal pelaksanaan modifikasi ini adalah sebagai berikut:

Tabel 5. Rencana kegiatan

No.	Kegiatan	Waktu															
		September 2016			Oktober 2016				November 2016				Desember 2016				
		2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	Pengujian Kerja Mesin Sebelum Modifikasi																
2	Perancangan																
3	Pengerjaan Modifikasi Sistem Bahan Bakar																
4	Pengerjaan Modifikasi Sistem Kontrol Elektronik																
5	Pengujian Kerja Mesin Setelah Modifikasi																

E. Perencanaan Biaya

Dalam proses modifikasi injeksi pada mobil Garuda *Urban Gasoline* ini diperlukan biaya yang digunakan untuk mempersiapkan bahan-bahan atau komponen yang diperlukan serta biaya untuk beberapa keperluan dan jasa pengujian performa mesin yang dilakukan di luar lingkungan bengkel kampus yaitu di Mototech. Perencanaan biaya tersebut telah dibuat sebelum melakukan proses modifikasi, hal ini dilakukan agar persiapan biaya yang digunakan lebih matang.

Adapun penjelasan rancangan biaya dalam proses modifikasi, pembelian komponen-komponen yang digunakan selama proses modifikasi, serta jasa pengujian performa mesin ini adalah sebagai berikut:

Tabel 6. Kebutuhan Bahan Dalam Pembuatan Proyek Akhir

No	Kebutuhan Modifikasi	Jumlah	Harga satuan	Jumlah
1	ECU Programmable assy	1 buah	Rp 25.000.000	Rp 25.000.000
2	O2 sensor	1 buah	Rp 500.000	Rp 500.000
3	Throttle body assy	1 buah	Rp 479.000	Rp 479.000
4	Manifold	1 buah	Rp 42.000	Rp 42.000
5	Clamp selang	8 buah	Rp 4000	Rp 32.000
6	socket	12 buah	Rp 7.000	Rp 84.000
7	Injector Assy	1 buah	Rp 120.000	Rp 120.000
8	Relay	3 buah	Rp 39.000	Rp 117.000
9	Wire harness assy	1 buah	Rp 409.000	Rp 409.000
10	Rotor	1 buah	Rp 253.000	Rp 253.000
11	coil	1 buah	Rp 500.000	Rp 500.000
12	Sensor Crank	1 buah	Rp 143.000	Rp 143.000
13	Sensor cam	1 buah	Rp 160.000	Rp 160.000
14	regulator	1 buah	Rp 450.000	Rp 450.000
15	sambungan pipe fuel	8 buah	Rp 8.000	Rp 64.000
16	Pipe fuel	3 meter	Rp 75.000	Rp 225.000
17	Tenol	1 gulung	Rp 20.000	Rp 20.000
18	Tubing 3mm	2 meter	Rp 4.000	Rp 4.000
19	Tubing 4mm	2 meter	Rp 4.000	Rp 4.000
20	Tabung air preassure	1 buah	Rp 10.000	Rp 10.000
21	Isolasi	1 buah	Rp 5.000	Rp 5.000
Jumlah				Rp 28.621.000

F. Perancangan Pengujian

1. Pengujian Modifikasi

Pengujian modifikasi ini digunakan untuk menganalisis tentang kesesuaian antara hasil modifikasi dengan perencanaan desain modifikasi. Dibawah ini adalah rencana awal pembuatan modifikasi sistem bahan bakar injeksi standar menjadi sistem bahan bakar injeksi menggunakan ECU *programmable* MS-3.

pengujian performa dilakukan di luar lingkungan kampus yaitu di Mototech (Jl. Ringroad Selatan, Kemasan, Banguntapan, Sleman, Yogyakarta).

Pengujian performa ini juga dilakukan dua kali yaitu sebelum dilakukan modifikasi dan setelah dilakukan modifikasi. Data yang diambil dari pengujian ini adalah berupa kurva atau grafik yang menunjukkan pada tingkat *rpm* (putaran mesin) berapa daya maksimum dan torsi maksimum dapat tercapai. Kemudian melakukan perbandingan dari data pengujian sebelum dilakukan modifikasi dengan data setelah dilakukan modifikasi apakah menunjukkan peningkatan daya atau tidak.

Yang kedua cara mengukur konsumsi bahan bakar. Masih sama dengan pengujian sebelumnya, pengujian ini dilakukan sebelum dan sesudah dilakukan modifikasi. Pengujian konsumsi bahan bakar mesin ini dilakukan di Stadion Maguwo dengan mengitari daerah lingkaran luar stadion dengan *track* sepanjang 800 meter sebanyak 15 kali sehingga didapatkan *track* sepanjang 12 km yang sesuai dengan *track* pada kompetisi sebenarnya

BAB IV

PROSES, HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Proses Modifikasi Sistem Injeksi

Proses modifikasi sistem injeksi *programmable* menggunakan ECU MS-3 pada mesin Karisma 125 mobil Garuda *Urban Gasoline* ini meliputi beberapa tahapan modifikasi diantaranya pembuatan dan pemasangan komponen-komponen meliputi *adapter*, sensor-sensor, *actuator*, sistem bahan bakar, *wiring* serta pemrograman ECU dalam sistem kontrol elektronik, diantaranya adalah:

1. Pembuatan adapter *intake manifold*, pemasangan *throttle body* dan *injektor*

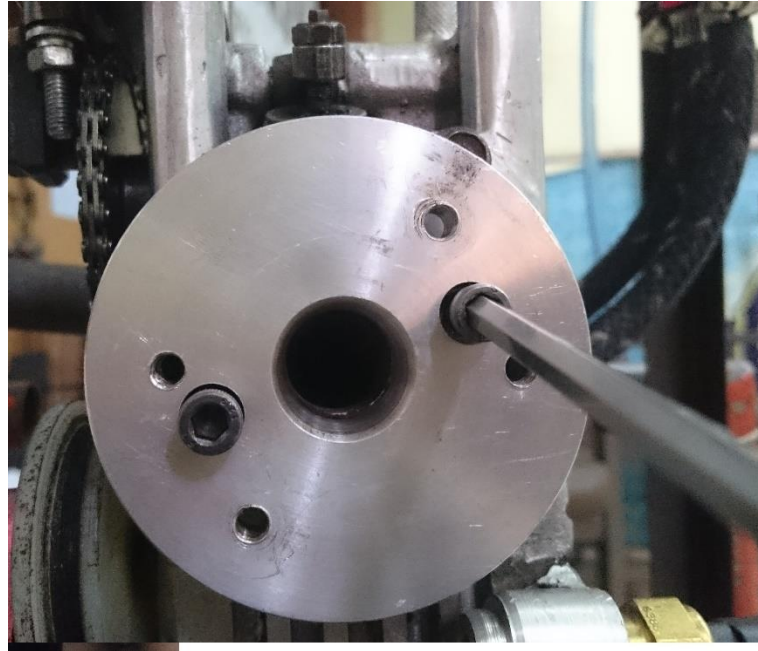
Intake manifold Honda Kharisma dengan Yamaha Jupiter Z1 memiliki perbedaan pada jarak antar dua lubang baut pengikat pada *intake manifold* dengan lubang baut pada kepala silinder, sehingga perlu dilakukan modifikasi pembuatan *adapter* agar *intake manifold* dapat terpasang dengan baik dan tidak bocor. Modifikasi ini adalah membuat *adapter* dan membuat kembali lubang baut pada *intake manifold* yang mana jarak antar dua lubang baut pada *intake manifold* tersebut disamakan dengan jarak antar dua lubang baut pada kepala silinder yaitu sepanjang 4,70 cm dan jarak antara dua lubang baut pada *intake manifold* yang akan digunakan adalah 5,80 cm.



Gambar 39. Membubut Adapter *Intake Manifold*



Gambar 40. Hasil Modifikasi Adapter *Intake Manifold*



Gambar 41. Memasang Adapter *Intake Manifold* pada *Engine*

a. Pemasangan Injektor

Kemudian setelah *intake manifold* terpasang dengan baik, proses selanjutnya adalah memasang *throttle body* dan injektor pada *intake manifold* tersebut, dimana komponen *throttle body* dan injektor yang digunakan pada modifikasi ini juga menggunakan *sparepart* dari Yamaha Jupiter Z1 maka tidak perlu dilakukan modifikasi karena pada *intake manifold* sudah terdapat dudukan *injektor* yang sesuai. Injektor hanya dibaut menggunakan satu buah baut L dengan ukuran M8 dengan *intake manifold*.



Gambar 42. Memasang Injektor pada *Intake Manifold*

b. Pemasangan *throttle body*

Throttle body yang digunakan pada modifikasi ini juga menggunakan *throttle body* Jupiter Z1. *Throttle body* sebagai jalur utama masuknya udara ke ruang bakar dipasang pada ujung *intake manifold*. Pemasangan *throttle body* ini juga tidak perlu melakukan perubahan apapun, dan pemasangannya hanya diikat dengan *klem*. Dilakukannya penggantian *throttle body* dikarenakan terdapat perbedaan sensor pada *throttle body* Yamaha V-ixion menggunakan sensor MAP, IATS, TPS dan ISC Valve sedangkan pada *throttle body* Honda Kharisma hanya menggunakan TPS dan ISC Valve.



Gambar 43. Memasang *Thorttle Body*

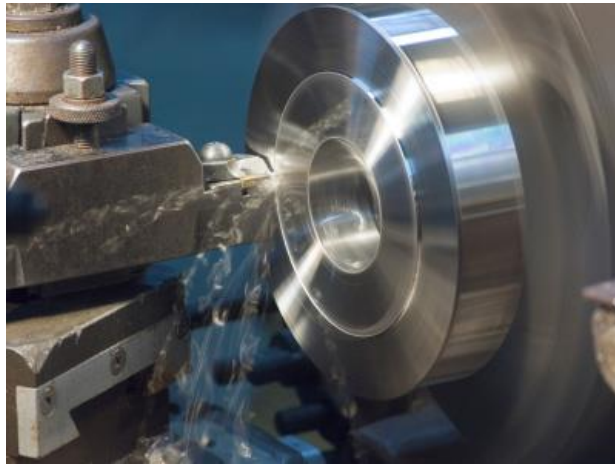
2. Pemasangan sensor CKP

Pada modifikasi sistem injeksi ini diperlukan pemasangan sensor CKP yang berfungsi untuk mendeteksi posisi poros engkol, dimana sensor tersebut tidak dapat langsung terpasang sehingga perlu dilakukan modifikasi dikarenakan adanya modifikasi di bagian diameter dan peletakan rotor yang berbeda dengan *standart*-nya maka harus dilakukan pembuatan *adjuster* dan *mounting*.

a. Pembuatan rotor

Pembuatan rotor ini dilakukan karena adanya modifikasi pada letak dan diameter pada umumnya. Rotor ini diposisikan di bagian kanan mesin sehingga harus dilakukan pembuatan rotor baru dengan cara membubut besi

pejal sesuai desain dan membuat *pickup* rotor dan melakukan pengelasan pada tonjolan *pickup*-nya.



Gambar 44. Membubut Besi Pejal sesuai Gambar Kerja



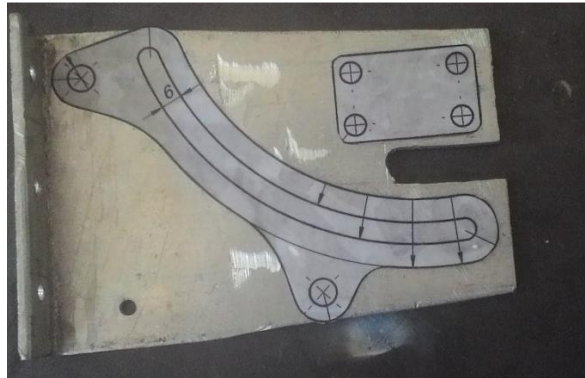
Gambar 45. Pengelasan *Pickup* pada Rotor



Gambar 46. Hasil Pembuatan Rotor

b. Pembuatan mounting dan adjuster CKP

Setelah menyelesaikan gambar kerja kemudian mencetak gambar tersebut dengan perbandingan skala 1:1 dan memotong gambar tersebut sesuai dengan garis bentuk gambar, selanjutnya menempelkan potongan gambar kerja tersebut pada plat yang akan digunakan untuk membuat *mounting* dan *aduster*, hal ini bertujuan agar pada saat proses pembuatan dan pembentukan *mounting* dan *adjuster* lebih mudah, presisi dan lebih efisien pada penggunaan bahan.



Gambar 47. Menempelkan Gambar Kerja Skala 1:1 pada Plat



Gambar 48. Membentuk Plat Sesuai dengan Gambar Kerja



Gambar 49. *Mounting* yang Sudah Jadi



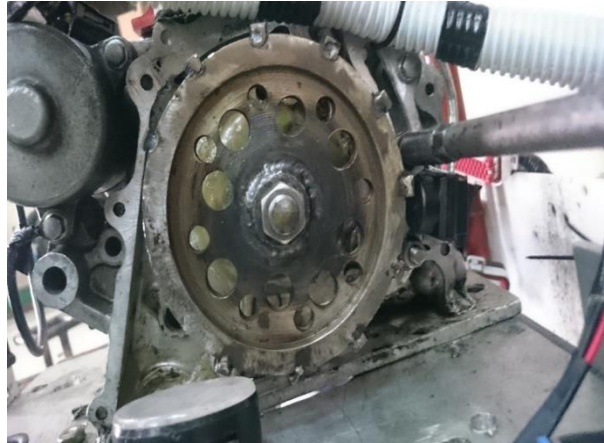
Gambar 50. *Adjuster* yang Sudah Jadi

B. Pemasangan Sensor CKP pada *Engine*

Setelah pembuatan rotor, *mounting* dan *adjuster* selesai, kemudian memasang rotor di *engine* terlebih dahulu. Pemasangan ini dengan memasang rotor pada *crankshaft* sesuai *splend* pada pasaknya dan mengikat serta mengencangkan dengan baut M12. Selanjutnya adalah pemasangan CKP dengan *mounting* menggunakan dua buah baut M8, kemudian memasang *mounting* dengan *adjuster* dengan dua buah baut M8. Tahapan berikutnya setelah CKP, *mounting* dan *adjuster* terpasang menjadi satu kesatuan, kemudian memasangnya pada *engine* menggunakan 2 buah baut M8.



Gambar 51. Pemasangan Rotor pada *Engine*



Gambar 52. Pemasangan CKP ke *Engine*

3. Pemasangan *chamsaft* sensor

Pemasangan *chamsaft* sensor ini perlu adanya pembuatan *mounting* untuk dudukan sensornya agar dapat terpasang pada *engine*. Hal ini dilakukan dengan cara pemotongan dan pengeboran plat sesuai gambar kerja.



Gambar 53. Memotong plat sesuai gambar kerja



Gambar 54. Plat *mounting* CMP yang Sudah Jadi



Gambar 55. Pemasangan Sensor CMP pada *Engine*

4. Pembuatan sistem bahan bakar

Sistem saluran bahan bakar ini dilakukan pembuatan ulang dengan menghilangkan *fuelpump* dan mengganti dengan sistem bahan bakar injeksi dengan tekanan udara manual. Langkah-langkah pembuatannya adalah dengan

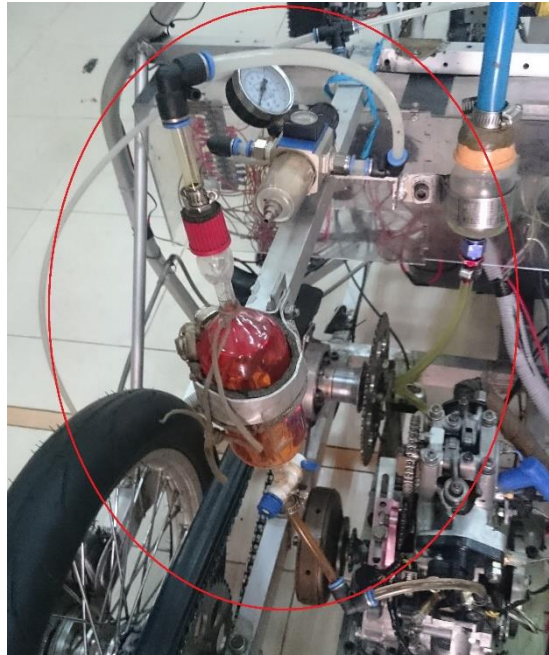
membuat tempat sambungan selang pada tabung lalu merangkai *fuel line* dengan urutan -> tabung diseri dengan tempat pemompaan -> pressure regulator -> tangka -> dan injektor.



Gambar 56. Memasang Dudukan Selang pada Botol Udara



Gambar 57. Memasang Dudukan Selang pada Tutup Tangka Bahan Bakar



Gambar 58. Memasang Sistem Bahan Bakar pada Mobil

5. Pemasangan *wire harness*

Wire harness pada sistem injeksi dilengkapi dengan sensor-sensor dan *actuator* yang terhubung ke ECU, untuk mempermudah proses instalasi pada modifikasi sistem injeksi mobil Garuda *Urban Gasoline* ini pemasangan *wire harness* ini menggunakan diagram dari ECU MS-3. Sebelum dilakukan instalasi terlebih dahulu dilakukan beberapa tahapan diantaranya adalah: mengukur panjang dari kabel yang akan digunakan pada mobil, kemudian merangkai *wiring harness* disesuaikan dengan tempat yang tersedia pada rangka. Selanjutnya adalah pemasangan *wire harness* pada rangka dan memasang socket *sensor* dan *actuator* yang terpasang pada *engine* serta ECU tersebut.



Gambar 59. Instalasi *Wire Harness*



Gambar 60. *Wire Harness* yang Sudah Jadi



Gambar 61. Memasang Instalasi *Wire Harnes* pada Rangka



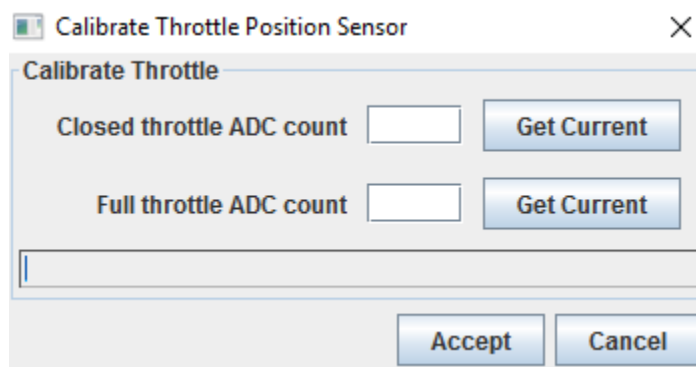
Gambar 62. Memasang *Socket Sensor & Actuator*

6. Pemrograman ECU

a. Kalibrasi TPS

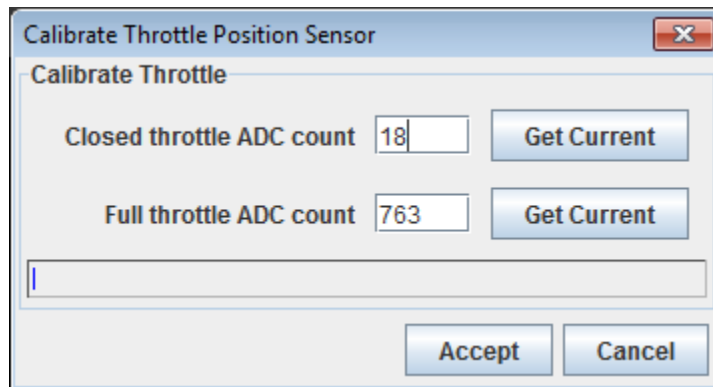
Pertama kali yang harus dilakukan sebelum pemrograman ECU adalah mengkalibrasi TPS sehingga dapat diperoleh hasil yang lebih akurat dan performa yang lebih optimal. Proses kalibrasi TPS dengan cara sebagai berikut:

- 1) Dengan cara menekan pilihan pada *Tools* -> *Calibrate TPS*



Gambar 63. Keadaan TPS Belum Terkalibrasi

- 2) Pilih *Closed throttle ADC count*, pada saat *throttle* dalam keadaan tertutup klik *Get Current*
- 3) Memilih *full ADC count*. Membuka dan menahan *throttle* dalam keadaan penuh , dan klik *get current*



Gambar 64. Hasil dari TPS yang Sudah Terkalibrasi

b. Pemeriksaan Hasil Kalibrasi

Setelah proses kalibrasi selesai maka dilakukan pemeriksaan dengan cara membuka dan menutup *throttle* kemudian melihat nilai pada histogram *Throttle Position Sensor*. Dimana keadaan tertutup akan menghasilkan bukaan 0% dan ketika throttle dibuka penuh akan menghasilkan bukaan 100%.

c. Penyettingan Volume Injeksi

Melakukan penyettingan *mapping fuel* atau volume injeksi. Penyettingan volume injeksi dilakukan *by* MAP tiap kevakuman yang dihasilkan oleh *intake manifold*. Proses penyettingan volume injeksi dengan cara klik menu *Tuning* kemudian memilih menu *VE Table*.

Tabel 8. Setting awal VE Table

Fuel VE Table 1

File Tools

3D View

Fuel Load %

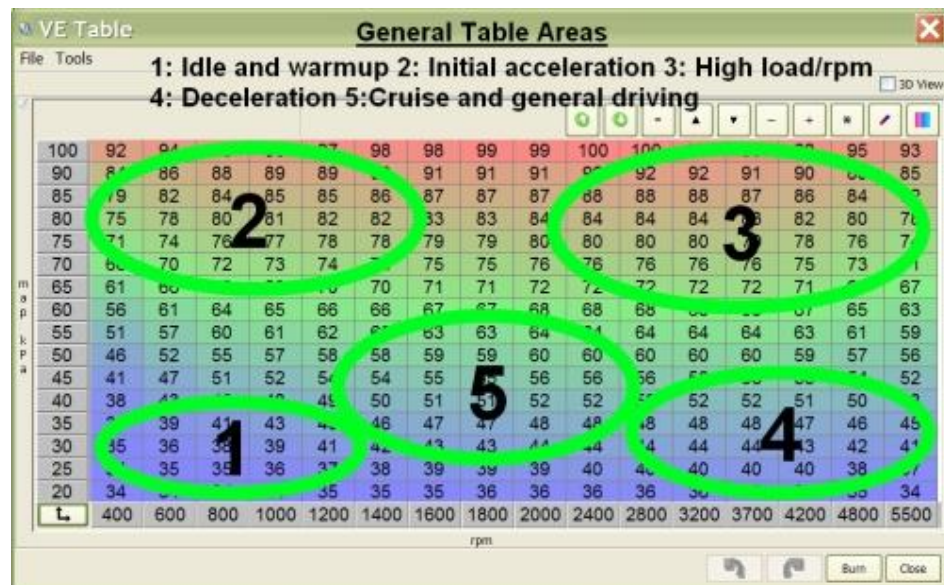
100.0	109	116	96	101	106	107	109	111	112	114	116	118	120	122	123	124
98.0	101	111	96	100	104	97	99	102	102	104	104	107	111	115	115	130
95.0	83	108	103	97	94	78	80	79	71	71	82	86	103	112	115	129
90.0	86	103	78	71	92	57	52	58	55	51	66	80	101	111	114	126
85.0	89	95	65	56	56	56	56	56	56	57	71	80	102	115	115	121
80.0	82	81	60	57	58	60	61	61	62	52	69	87	105	112	108	115
75.0	76	76	56	57	60	63	65	66	68	65	79	94	97	101	95	104
70.0	69	70	54	58	62	67	70	73	73	86	89	92	94	96	90	99
65.0	65	66	69	58	64	71	74	77	79	84	86	87	88	89	84	94
60.0	62	65	73	59	60	65	70	73	76	83	87	88	87	85	80	90
55.0	58	57	58	59	60	62	72	76	77	82	84	81	81	82	83	84
50.0	48	46	48	51	58	62	67	72	73	73	78	74	74	75	75	77
45.0	43	42	43	45	54	60	65	69	71	68	73	74	72	72	73	74
40.0	38	37	39	44	53	61	65	65	65	67	67	69	70	71	71	72
35.0	29	29	32	38	46	53	55	57	58	59	61	62	63	64	65	66
30.1	29	29	29	34	40	46	49	51	52	54	56	57	58	59	60	61

rpm

Close

Proses penyettingan mulai dari posisi *throttle* 0%, kemudian melakukan penyettingan hingga posisi *throttle* 100% dengan cara mengisi VE Table sesuai kebutuhan mesin. Di dalam VE Table ada beberapa axis dimana: (1) RPM pada sumbu X. (2) *Fuel Load* % pada sumbu Y. (3) adalah Y axis bukaan *throttle position sensor* (4) adalah X axis dalam tiap putaran mesin (5) adalah Z axis atau nilai yang kita masukkan untuk volume bahan bakar antara bukaan *throttle* dan putaran mesin

Tabel 9. Hasil mapping VE Table terbaik sesuai mesin



d. Penyettingan *Timing* Pengapian

Setelah menyelesaikan proses penyettingan bahan bakar maka di lakukan penyettingan *timing* pengapian, proses penyettingan *timing* pengapian sama seperti penyettingan volume injeksi dan dilakukan by MAP. Proses penyettingan dilakukan mulai dari RPM terendah hingga sampai *rpm* yang telah ditentukan.

Tabel 10. Hasil mapping Timing Pengapian terbaik sesuai mesin

	700	900	1200	1500	2000	2600	3100	3700	4300	4900	5400	6000
100.0	14.8	16.8	19.0	21.6	28.2	33.5	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
90.0	15.1	17.2	19.5	22.8	29.5	34.3	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
80.0	15.5	17.5	20.0	23.5	29.9	34.8	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
70.0	16.0	18.3	20.3	24.1	30.8	35.3	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
60.0	16.0	18.5	20.5	25.0	31.7	35.8	36.0	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2
50.0	15.8	18.8	20.8	25.8	32.0	36.0	36.5	36.5	36.5	37.0	37.0	37.0
45.0	15.7	18.6	20.7	26.8	32.1	36.0	36.6	37.2	37.5	37.5	37.5	37.5
40.0	15.5	18.4	20.6	27.2	32.2	36.0	36.8	37.4	37.4	37.6	37.6	38.0
35.0	15.5	18.2	20.4	27.4	32.3	36.4	37.0	37.0	37.5	37.5	38.0	38.0
30.0	15.6	18.0	20.2	27.8	32.4	36.8	37.0	37.5	37.5	38.0	38.0	38.0
25.0	15.7	17.8	20.1	28.2	32.4	37.0	37.0	37.0	37.5	38.0	38.0	38.0
20.0	15.7	17.5	20.0	28.6	32.8	37.5	37.0	37.5	38.0	38.0	38.0	38.0

c. Proses Pengujian

a. Pengujian modifikasi

Proses pengujian modifikasi ini digunakan untuk menganalisis tentang suatu hal yang kita buat hasilnya sudah sesuai atau belum dengan perencanaan desain modifikasi. Di bawah ini adalah rencana awal pembuatan modifikasi sistem bahan bakar injeksi standar menjadi sistem bahan bakar injeksi menggunakan ECU *programmable* MS-3.

b. Pengujian performa serta konsumsi bahan bakar

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai konsumsi bahan bakar serta performa yang dihasilkan oleh *engine* tersebut baik daya maksimum maupun torsi maksimum. Untuk mengetahui konsumsi bahan bakar dilakukan uji *running* di Sirkuit Maguwo. Sedangkan untuk mengetahui daya dan torsi yang dihasilkan digunakan alat *dynamometer* atau yang biasa disebut dengan *dynotest*. Karena di bengkel otomotif belum memiliki alat *dynotest*, maka pengujian performa mesin dilakukan di Mototech yang beralamat di Jl. Ringroad Selatan, Kemas, Banguntapan, Bantul, Yogyakarta. Pengujian ini dilakukan sebanyak 2 kali yaitu sebelum dan setelah dilakukannya modifikasi. Dikarenakan *dynotest* yang tersedia di Mototech hanya untuk sepeda motor maka untuk melakukan pengujian *dynotest* ini mesin yang kita rancang kita pasang di rangka sepeda motor baik sebelum dan sesudah dilakukannya modifikasi sistem injeksi. Pengambilan data dilakukan dengan cara menghidupkan mesin lalu memindahkan perpindahan gigi pada perseneling 3 serta stabil di rpm 3000 lalu membuka katup gas hingga putaran mesin mencapai 3000 rpm, setelah itu dilakukan akselerasi hingga putaran mesin mencapai 8.000 rpm. *Dynamometer* akan menghasilkan data berupa grafik pada komputer yang akan menunjukkan pada putaran berapa daya maksimum dan torsi maksimum dapat dicapai oleh mesin tersebut.

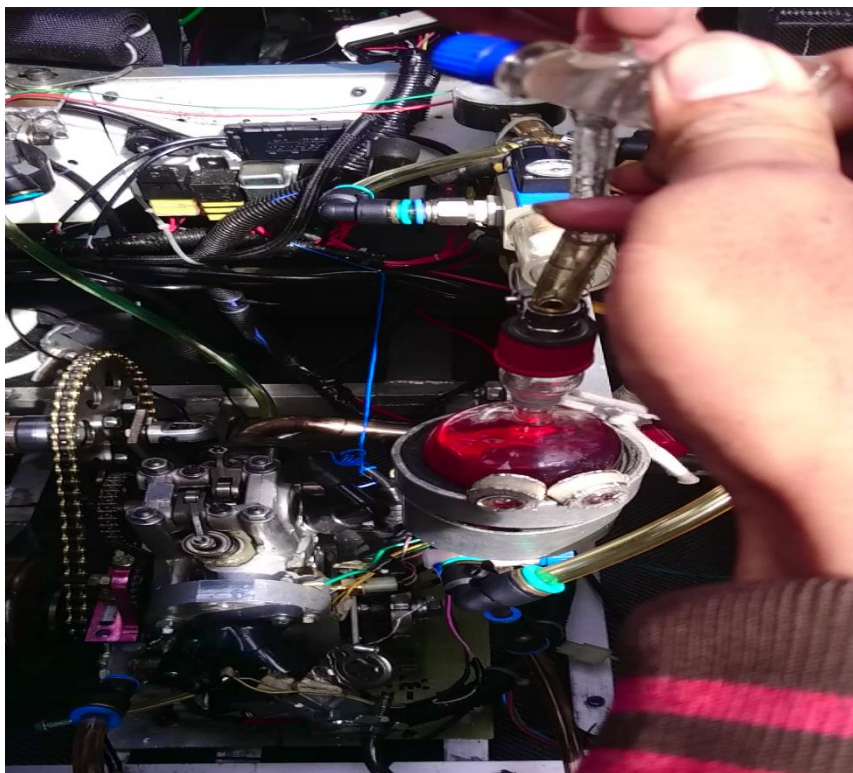


Gambar 65. Pengujian Performa Mesin

Proses pengujian selanjutnya adalah pengukuran konsumsi bahan bakar pada mobil Garuda Urban Gasoline keadaan mesin *standart* dan yang sudah dimodifikasi. Proses pengujian ini disimulasikan sesuai keadaan *real* pada saat lomba dimana mobil harus mampu menempuh jarak 12 km dengan catatan waktu 30 menit. Mobil sebelum berjalan akan diisi bahan bakar sebanyak 150 ml dan berjalan menempuh jarak 12 km dengan total 15 laps dikarenakan di sirkuit maguwo panjangnya adalah 800m. Setelah *finish* sesuai dengan regulasi mobil akan diukur konsumsi bahan bakarnya menggunakan buret/gelas ukur.



Gambar 66. Pengujian Konsumsi Bahan Bakar



Gambar 67. Pengukuran Konsumsi Bahan Bakar Menggunakan Buret

c. Hasil pengujian

a. Pengujian Modifikasi

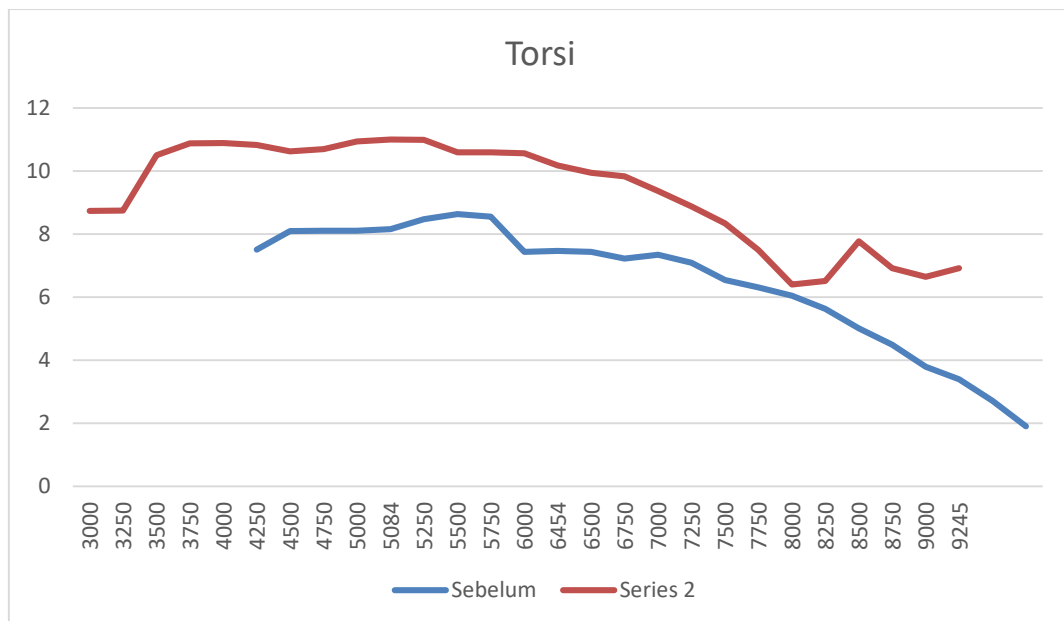
Setelah dilakukan pengujian modifikasi yang bertujuan menganalisis adanya kesenjangan dalam proses pembuatan dari desain ke hasil akhir dinyatakan sudah sesuai. Hal ini dibuktikan dengan dapat terpasangnya semua sensor, *actuator*, *wiring*, dan mesin dapat hidup dengan normal.

b. Hasil Modifikasi terhadap Performa dan Konsumsi Bahan Bakar

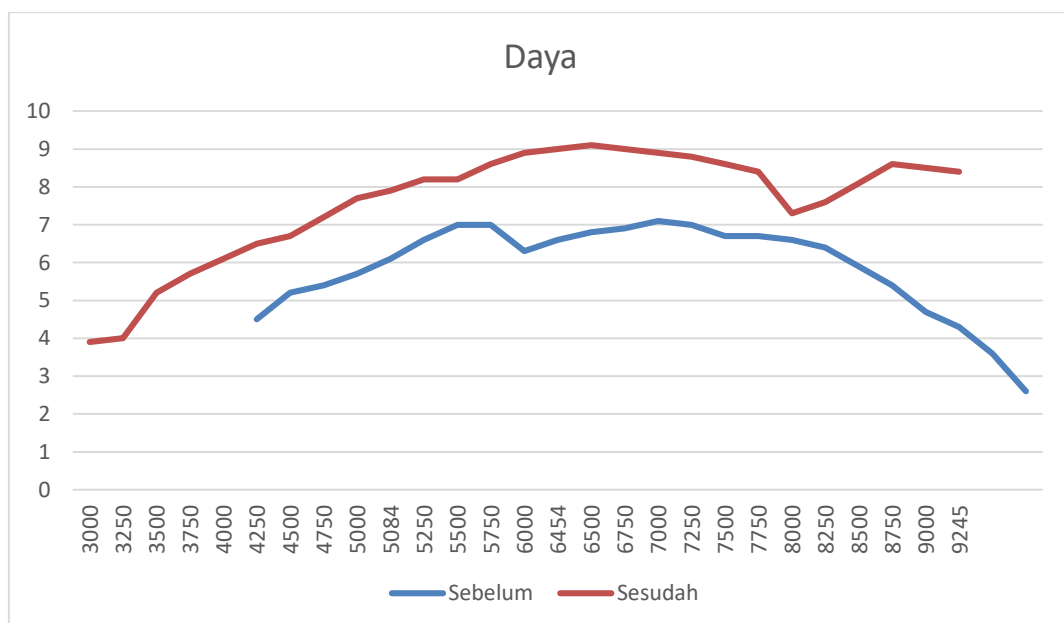
Setelah dilakukan pengujian performa mesin yang mana pengujian tersebut dilakukan sebanyak dua kali yaitu sebelum modifikasi dan sesudah modifikasi untuk mengetahui perbedaan dan pengaruh dari modifikasi sistem injeksi Honda Kharisma 125 menggunakan ECU *programmable* MS-3 pada mobil Garuda *Urban Gasoline*. Maka didapatkan hasil dari pengujian sebagai berikut :

Tabel 12. Hasil Pengujian Performa Mesin

Sebelum				Sesudah			
Rpm	Daya	Torsi	waktu	Rpm	Daya	Torsi	waktu
4250	4.5	7.51	0.64	3000	3.9	8.74	0.40
4500	5.2	8.10	0.94	3250	4.0	8.75	0.52
4750	5.4	8.11	1.22	3500	5.2	10.50	0.74
5000	5.7	8.11	1.52	3750	5.7	10.88	0.98
5250	6.1	8.16	1.80	4000	6.1	10.89	1.22
5500	6.6	8.47	2.08	4250	6.5	10.83	1.46
5724	7.0	8.64	2.32	4500	6.7	10.63	1.72
5750	7.0	8.56	2.36	4750	7.2	10.70	1.96
6000	6.3	7.44	2.68	5000	7.7	10.94	2.20
6250	6.6	7.47	3.00	5084	7.9	11.00	2.28
6500	6.8	7.44	3.30	5250	8.2	10.99	2.46
6750	6.9	7.23	3.62	5500	8.2	10.59	2.70
6806	7.1	7.35	3.70	5750	8.6	10.59	2.96
7000	7.0	7.09	3.98	6000	8.9	10.56	3.20
7250	6.7	6.55	4.34	6250	9.0	10.18	3.48
7500	6.7	6.31	4.72	6454	9.1	9.95	3.68
7750	6.6	6.05	5.12	6500	9.0	9.83	3.74
8000	6.4	5.63	5.56	6750	8.9	9.37	4.02
8250	5.9	5.01	6.04	7000	8.8	8.88	4.32
8500	5.4	4.50	6.54	7250	8.6	8.34	4.64
8750	4.7	3.80	7.18	7500	8.4	7.50	4.20
9000	4.3	3.40	7.90	7750	7.3	6.40	5.47
9250	3.6	2.72	8.80	8000	7.6	6.52	6.10
9500	2.6	1.91	10.12	8250	8.1	7.77	6.44
				8500	8.6	6.92	6.78
				8750	8.5	6.65	7.12
				9000	8.4	6.92	7.46



Gambar 68. Grafik Torsi dari Hasil Pengujian *Dynotest*



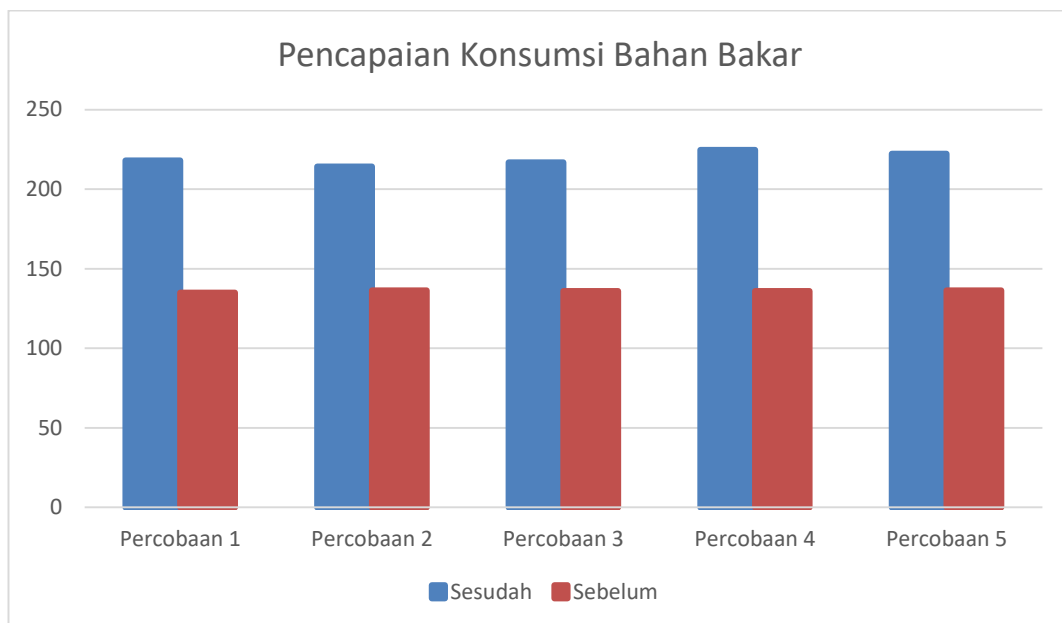
Gambar 69. Grafik Daya dari Hasil Pengujian *Dynotest*

Table 13. Hasil Konsumsi Bahan Bakar Sebelum Modifikasi

Sebelum				
Konsumsi	Time menit	Suhu	Kelembapan	Nilai Km/L
88,9 ml	28,03	28	33%	134.9
88.0 ml	29.44	28	33%	136.3
88.2 ml	29.00	30	32%	136
88.2 ml	28.55	30	32%	136
88.0 ml	28.22	30	32%	136.3

Table 14. Hasil Konsumsi Bahan Bakar Setelah Modifikasi

Sesudah				
Konsumsi	Time menit	Suhu	Kelembapan	Nilai Km/L
55 ml	29,03	29	32%	218.1
56.0 ml	28.43	30	32%	214.2
55.3 ml	29.51	32	31%	216.9
53.4 ml	29.33	32	31%	224.7
54.0 ml	29.42	32	31%	222.2



Gambar 70. Grafik Pencapaian Konsumsi Bahan Bakar

d. Pembahasan

Dalam kompetisi *Shell Eco Marathon* sistem injeksi merupakan bagian dari regulasi. Dimana sistem injeksi lebih efisien dan ramah lingkungan serta hemat bahan bakar. Salah satu inovasi yang dikembangkan sistem kontrol injeksi adalah sistem *control EFI programmable* menggunakan ECU MS-3 dimaksudkan agar dapat di *setting* sesuai kebutuhan serta meningkatkan kinerja mesin supaya *power* yang dihasilkan lebih baik, akselerasi yang lebih responsif stabil pada setiap putaran, dapat menekan efisiensi bahan bakar, menghasilkan emisi yang ramah lingkungan.

Pada modifikasi sistem injeksi *programmable* MS-3 tersebut terlebih dahulu dilakukan identifikasi *wiring diagram* ECU MS-3. Selanjutnya mengukur panjang

kabel yang dibutuhkan pada rangka, selanjutnya merangkai *wiring* sesuai diagram ECU MS-3 dan memasang *socket* sensor dan *actuator* sesuai tempatnya.

Selanjutnya pemasangan sensor dan *actuator* pada pemasangan *throttle body* dan injektor, terlebih dahulu dilakukan pemasangan *intake manifold* dengan cara membuat *adapter* agar *intake manifold* Jupiter Z1 dapat terpasang pada *head* Kharisma 125. Setelah *intake manifold*, injektor dan *throttle body* terpasang kemudian dilakukan pemasangan *crankshaft position sensor* pada proses pemasangan perlu dilakukan pembuatan *mounting* dan *adjuster* untuk *crankshaft position sensor*, dengan cara menempelkan gambar kerja dengan skala 1:1 pada plat yang akan digunakan kemudian membentuk plat tersebut menggunakan gerinda, dan kikir sesuai gambar kerja dan memasang CKP pada *mounting* dan memasangnya pada *adjuster* ke *engine*. Setelah itu dilakukan pembuatan rotor dengan cara membubut besi pejal dengan diameter dan berat yang telah kita desain. Setelah selesai pembubutan dilakukan pembuatan *splend* dalam guna tempat spi rotor dan mengunci rotor supaya tidak bergeser. Selanjutnya adalah pembuatan *pickup* pada CKP sebagai *input*-an dengan jumlah 8 tonjolan. Setelah jadi dilakukan pengelasan *pickup* CKP dengan pembagian sudut 360 derajat dibagi 8 tonjolan sehingga tiap tonjolan berjarak 45 derajat.

Setelah semua sensor dan terpasang kemudian dilakukan kalibrasi TPS terlebih dahulu sebelum dilakukan pemrograman ECU MS-3 untuk memastikan nilai INITIAL pada saat *throttle* menutup penuh diantara 0% dan pada saat *throttle* membuka penuh berada pada nilai 100% sehingga penyettingan volume injeksi dan *timing* pengapian lebih akurat dan menghasilkan performa yang

maksimal, setelah kalibrasi TPS maka dapat dilakukan penyettingan bahan bakar dan dilakukan penyettingan *timing* pengapian, pada proses penyettingan *timing* pengapian sama seperti penyettingan volume injeksi dilakukan *by* MAP tiap kevakuman *intake manifold* per putaran mesin.

Pada pengujian performa mesin sebelum dilakukan modifikasi, daya maksimum yang dapat dicapai mesin adalah sebesar 7.1 HP pada putaran 6806 rpm dan menghasilkan torsi maksimum sebesar 8.64 Nm pada putaran 5724 rpm. Sedangkan setelah dilakukan modifikasi, pengujian performa mesin menghasilkan daya maksimum sebesar 9,1 HP pada putaran 6454 rpm dan torsi maksimum sebesar 11,00 Nm pada putaran 5084 rpm. Berdasarkan hasil yang didapat dari kedua pengujian tersebut, didapatkan hasil bahwa setelah dilakukan modifikasi, performa mesin yang dihasilkan yaitu daya dan torsi juga mengalami peningkatan. Daya maksimum meningkat sebesar 2.0 HP (21.97%) dari daya yang dihasilkan sebelum modifikasi dan begitu pula dengan torsi maksimum yang juga meningkat sebesar 2.36 Nm (21.45%). Dalam metode pengujian konsumsi bahan bakar didapatkan hasil sebelum modifikasi 136.3 km/liter dan adanya peningkatan hasil menjadi 224.7 km/liter setelah dimodifikasi. Sehingga didapatkan peningkatan sebesar 88.8 K/Liter (39.34%).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Setelah melakukan proses perangkaian sistem injeksi *programmable* dan penyettingan ECU pada mobil Garuda *Urban Gasoline* ini serta pengujian performa *engine* menggunakan *dynotest* dan pengujian konsumsi bahan bakar dengan cara mobil di *running* sejauh 12 km dengan waktu maksimal 30 menit dan diukur konsumsi bahan bakarnya menggunakan buret maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Konsep rancangan dan proses perangkaian sistem injeksi pada mobil Garuda *Urban Gasoline* ini meliputi pembuatan dan pemasangan komponen-komponen meliputi *adapter*, sensor-sensor , *actuator*, sistem bahan bakar, *wiring* serta pemrograman ECU dalam sistem kontrol elektronik. Pada saat pemasangan *crankshaft position sensor* perlu dilakukan pembuatan *mounting* dan *adjuster* terlebih dahulu kemudian memasang *crankshaft position sensor* pada *mounting* dan *adjuster* menjadi satu kesatuan. Pembuatan rotor dilakukan dengan pembubutan besi pejal lalu dibubut sesuai desain gambar kerja, selanjutnya pembuatan *splend* dalam untuk rumah spi dan yang terakhir pembuatan tonjolan *pickup* dengan cara di las dengan jarak 45 derajat. Setelah semua sensor dan *actuator* terpasang kemudian dilakukan kalibrasi TPS terlebih dahulu untuk memastikan nilai INITIAL saat *thorttle* menutup

berkisar pada 0% dan nilai pada saat *throttle* membuka penuh bernilai 100%, setelah itu dilakukan proses penyettingan volume injeksi dan *timing* pengapian.

2. Pada pengujian performa mesin sebelum dilakukan modifikasi, daya maksimum yang dapat dicapai mesin adalah sebesar 7.1 HP pada putaran 6806 rpm dan menghasilkan torsi maksimum sebesar 8.64 Nm pada putaran 5724 rpm. Sedangkan setelah dilakukan modifikasi, pengujian performa mesin menghasilkan daya maksimum sebesar 9,1 HP pada putaran 6454 rpm dan torsi maksimum sebesar 11,00 Nm pada putaran 5084 rpm. Berdasarkan hasil yang didapat dari kedua pengujian tersebut, didapatkan hasil bahwa setelah dilakukan modifikasi, performa mesin yang dihasilkan yaitu daya dan torsi juga mengalami peningkatan. Daya maksimum meningkat sebesar 2.0 HP (21.97%) dari daya yang dihasilkan sebelum modifikasi dan begitu pula dengan torsi maksimum yang juga meningkat sebesar 2.36 Nm (21.45%). Dalam metode pengujian konsumsi bahan bakar didapatkan hasil sebelum modifikasi 136.3 km/liter dan adanya peningkatan hasil menjadi 224.7 km/liter setelah dimodifikasi. Sehingga didapatkan peningkatan sebesar 88.8 K/Liter (39.34%).

3. Keterbatasan

Keterbatasan alat ini dari segi kontrol elektronik adalah proses setting tidak dapat dilakukan secara online jarak jauh sehingga mobil harus kembali ke *paddock* terlebih

dahulu ketika penggantian setingan ECU. Sedangkan keterbatasan dari segi mekanis engine ini pada bagian poros *crankshaft* terdapat celah yang mengakibatkan oli mesin bocor. Sehingga pada setiap uji coba harus dilakukan penambahan jumlah oli mesin.

4. **Saran**

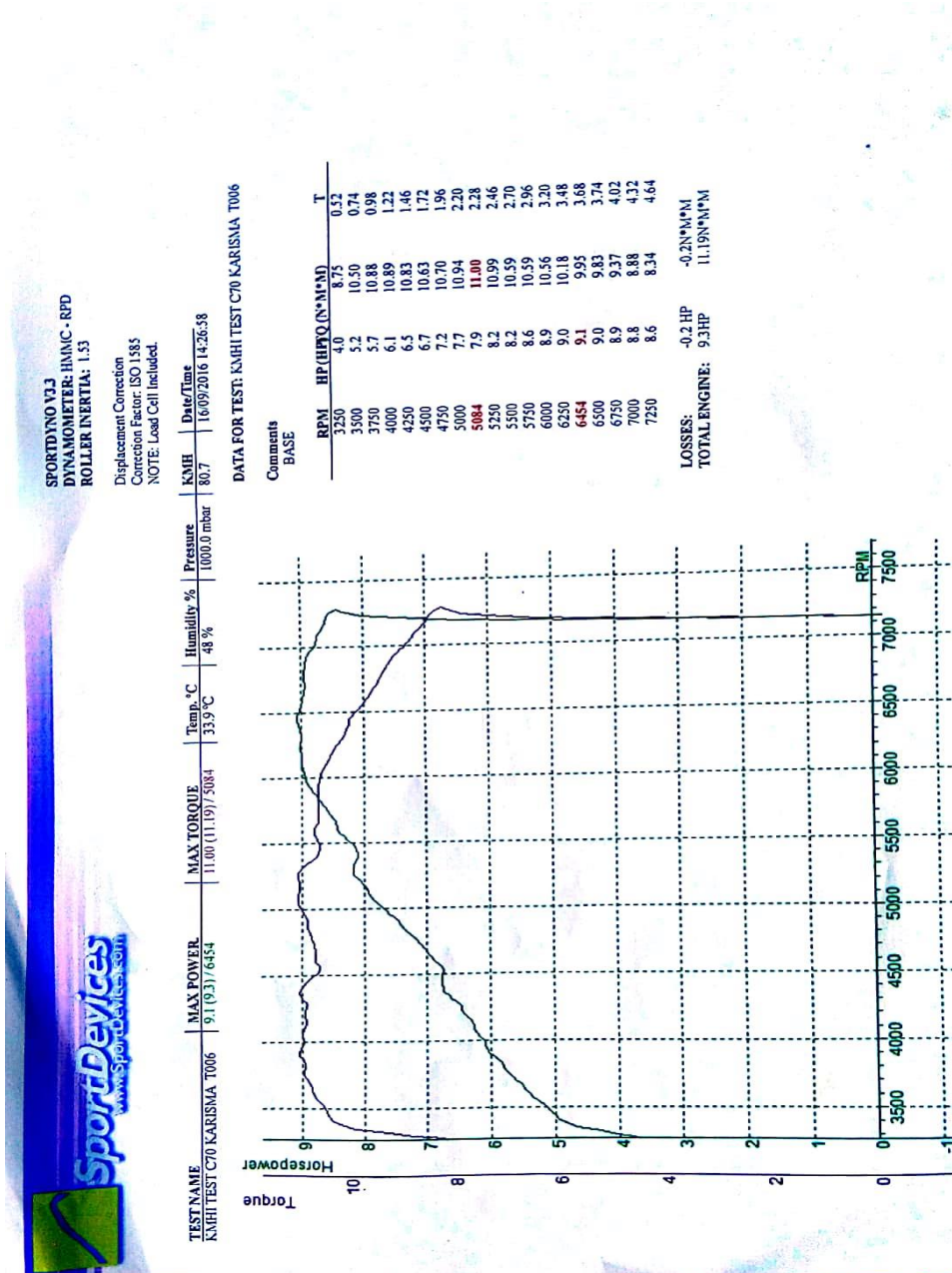
1. Lebih memperdalam lagi tentang sistem kontrol elektronik, sehingga mampu mempermudah dalam memahami *wiring* diagram sehingga tidak terjadi kesalahan dalam melakukan instalasi dan modifikasi pada sistem injeksi.
2. Pemrograman ECU ini dapat dikembangkan lagi untuk mendapatkan performa *engine* yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

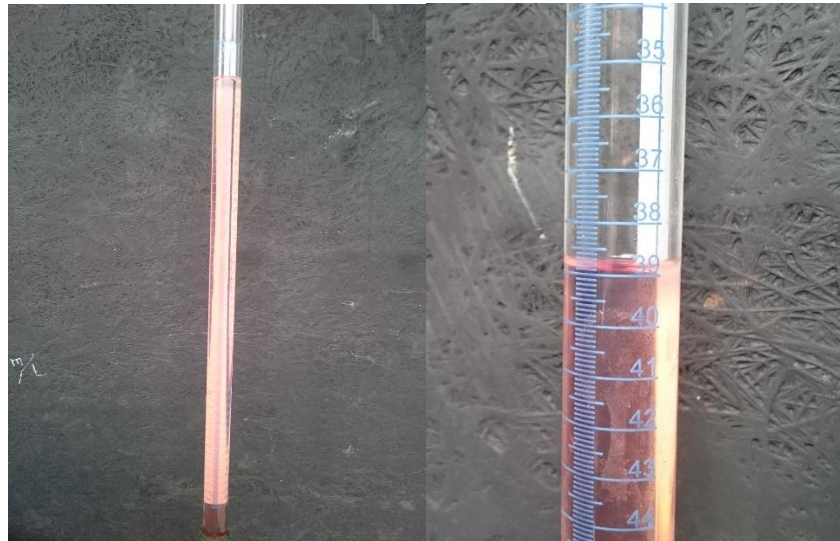
- Anonim. (2015). *Setting up and Product Range MS3 1.3.x*. Megasquirt-3.
- Anonim. (2017) *Official Rules Chapter I*. Shell Eco-Marathon.
- Anonim.(2017). *Shell Eco Marathon*. Diakses pada tanggal 03 September 2017 dari, <http://www.shell.com/energy-and-innovation/shell-ecomarathon.html>
- Anonim.(2017). *Shell Eco Marathon*. Diakses pada tanggal 08 September 2017 dari, https://en.wikipedia.org/wiki/Shell_Eco-marathon
- Anonim.(2017). *Shell Eco Marathon Americas*. Diakses pada tanggal 15 Juni 2017 dari, <http://www.shell.com/energy-and-innovation/shell-ecomarathon/americas.html>
- Anonim.(2017). *Shell Eco Marathon Asia Result and Award*. Diakses pada tanggal 20 Maret 2017 dari, <http://www.shell.com/energy-and-innovation/shell-ecomarathon/asia/results-and-awards.html>
- Anonim.(2017). *Shell Eco Marathon Europe*. Diakses pada tanggal 15 Juni 2017 dari, <http://www.shell.com/energy-and-innovation/shell-ecomarathon/europe.html>
- Djoko Suharto dan Taufiq Mulyanto. (2010). *Makna dan Dampak Kompetisi Shell Eco-marathon*. Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara Institut Teknologi Bandung.
- Budiarto, Nono.(2007). *Pemeliharaan Sistem Bahan Bakar Bensin*. Jakarta: Yudistira.
- Moch Solikin. (2005). *Sistem Injeksi Bahan Bakar Motor Bensin*. Yogyakarta: Kampong Ilmu.
- Sutiman. (2005). *Sistem Kontrol Elektronik*. Jurusan Pendidikan Teknik Otomotif FT UNY.
- Tim. (2016). *Pedoman Penyusunan Tugas Akhir Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta*.

Wahyu. D. H. (2013) Sistem Bahan Bakar Pada Motor. Yogyakarta: Javalitera

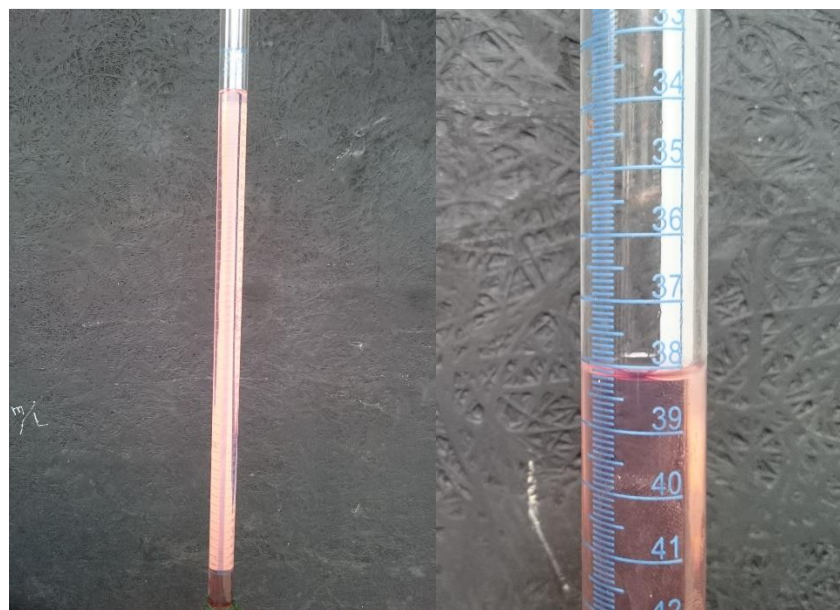
B. Foto hasil pengujian *dynotest* dengan sistem injeksi Honda Kharisma 125 berbasis ECU MS-3



- C. Foto hasil konsumsi bahan bakar mobil Garuda *Urban Gasoline* sebelum dimodifikasi dengan hasil 88,9ml



- D. Foto hasil konsumsi bahan bakar mobil Garuda *Urban Gasoline* sebelum dimodifikasi dengan hasil 88,0ml



- E. Foto hasil konsumsi bahan bakar mobil Garuda *Urban Gasoline* sebelum dimodifikasi dengan hasil 88,2ml



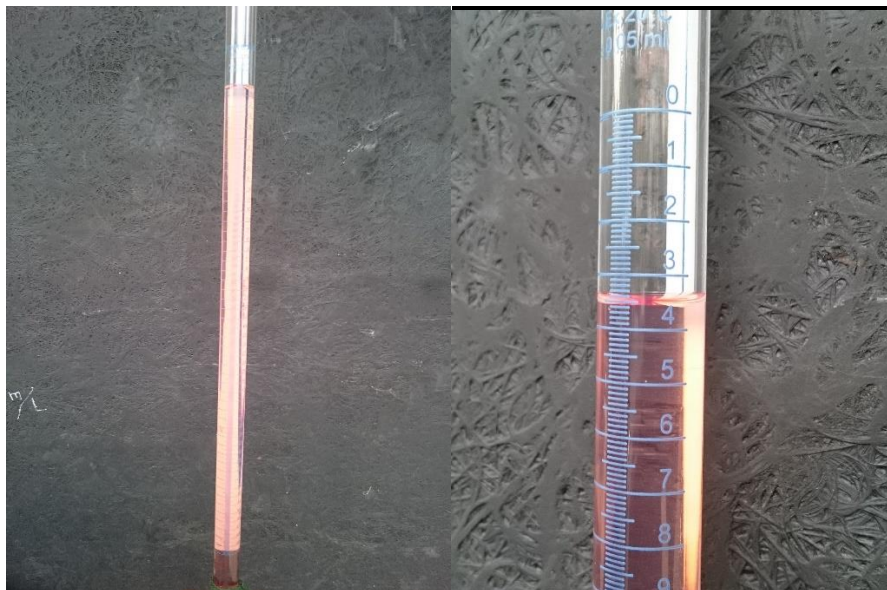
- F. Foto hasil konsumsi bahan bakar mobil Garuda *Urban Gasoline* setelah dimodifikasi dengan hasil 55ml



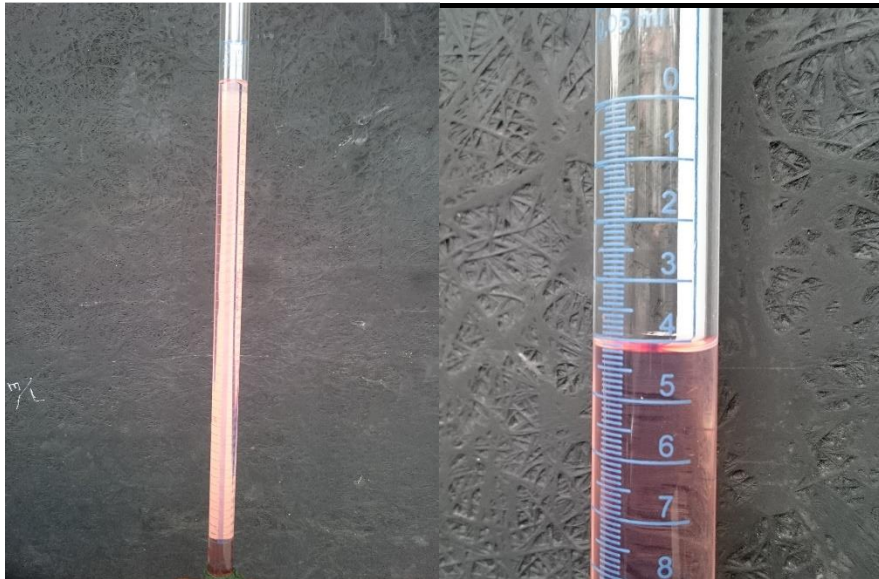
G. Foto hasil konsumsi bahan bakar mobil Garuda *Urban Gasoline* setelah dimodifikasi dengan hasil 56ml

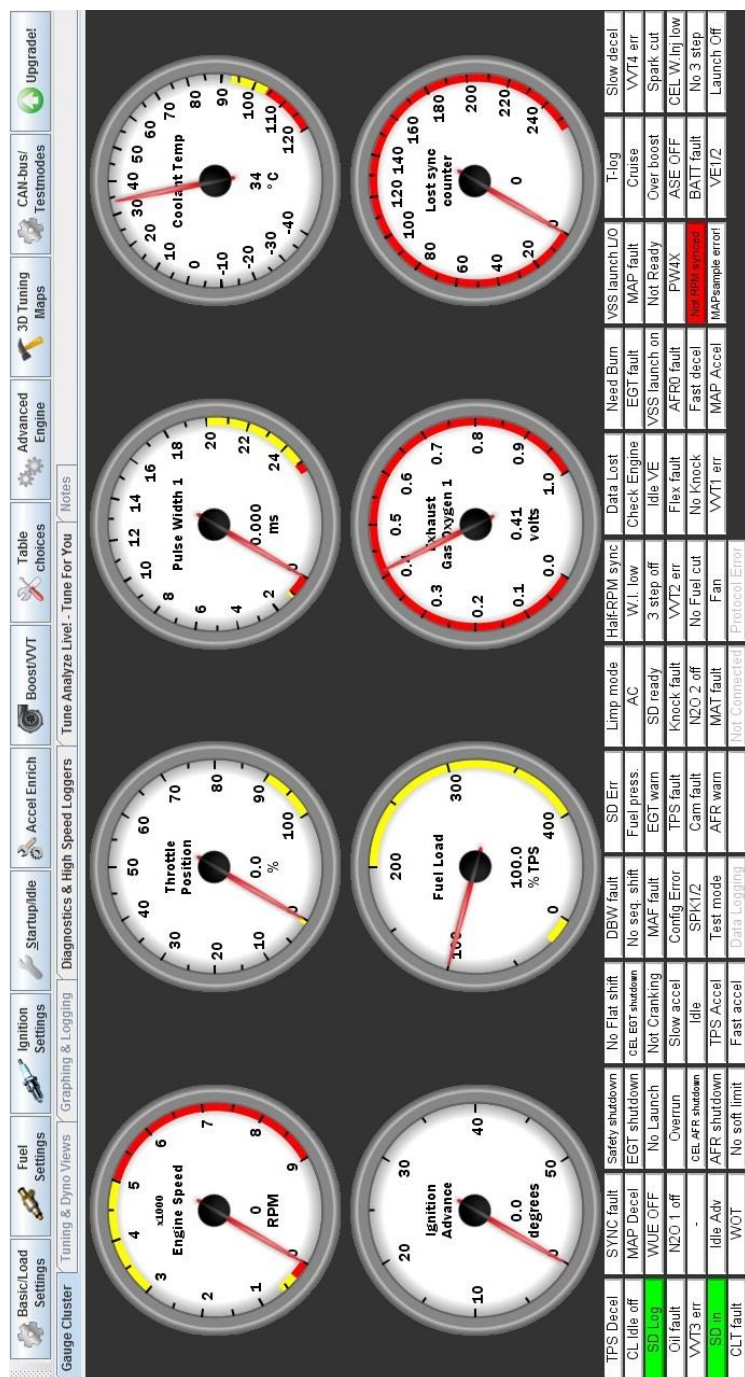


H. Foto hasil konsumsi bahan bakar mobil Garuda *Urban Gasoline* setelah dimodifikasi dengan hasil 53.4ml



- I. Foto hasil konsumsi bahan bakar mobil Garuda *Urban Gasoline* setelah dimodifikasi dengan hasil 53.4ml



J. Foto histogram *throttle position sensor* 0%

K. Foto histogram *throttle position sensor* 100%